



**INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA W PUŁAWACH
ROLNICZY ZAKŁAD DOŚWIADCZALNY W GRABOWIE**

Marek Sowiński

**WPŁYW STYMULACJI NASION POLEM MAGNETYCZNYM
NA WZROST, ROZWÓJ I PŁONOWANIE BOBIKU
(*Vicia faba* L. ssp. *minor*)***

Praca doktorska wykonana
w Zakładzie Uprawy Roślin Pastewnych
Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

*Badania wykonano w ramach własnego projektu badawczego (grantu) Nr 3 P06R 018 22

Promotor: doc. dr hab. Janusz Podleśny

PUŁAWY 2004

*Serdeczne podziękowanie składam Promotorowi Panu **doc. dr hab. Januszowi Podleśnemu** za życzliwą pomoc i cenne wskazówki podczas przygotowywania niniejszej rozprawy doktorskiej oraz pracownikom Zakładu Uprawy Roślin Pastewnych za pomoc przy prowadzeniu prac eksperymentalnych.*

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	4
2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA	7
2.1. Charakterystyka naturalnych i sztucznych pól magnetycznych	7
2.2. Urządzenia do przedsięwziętej stymulacji nasion polem magnetycznym	10
2.3. Mechanizm oddziaływania pola magnetycznego na nasiona i rośliny	11
2.4. Wpływ pola magnetycznego na kiełkowanie nasion i wschody roślin	13
2.5. Oddziaływanie pola magnetycznego na wzrost, rozwój i plonowanie roślin	15
2.6. Wpływ pola magnetycznego na jakość plonów	17
3. MATERIAŁ I METODY	18
3.1. Wpływ przedsięwziętej stymulacji magnetycznej na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach bobiku	18
3.2. Dynamika gromadzenia suchej masy oraz rozwój roślin bobiku z nasion traktowanych polem magnetycznym	21
3.3. Oddziaływanie pola magnetycznego na rozwój i plonowanie bobiku w warunkach pola doświadczalnego	22
3.4. Charakterystyka warunków pogodowych	23
4. WYNIKI BADAŃ	25
4.1. Wpływ pola magnetycznego na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach bobiku	25
4.1.1. Aktywność enzymów amylolitycznych	25
4.1.2. Koncentracja wolnych rodników	28
4.1.3. Zawartość fitohormonów	30
4.2. Kiełkowanie i wschody	31
4.3. Wzrost i rozwój roślin	37
4.4. Plonowanie roślin	48
4.5. Jakość plonu	52
5. DYSKUSJA	54
6. WNIOSKI	65
7. PIŚMIENNICTWO	67

WSTĘP

Rośliny strączkowe ze względu na znaczenie gospodarcze oraz walory przyrodniczo-ekonomiczne odgrywają znaczącą rolę w produkcji roślinnej (Jasińska i Kotecki 1993). Jedną z bardzo ważnych cech tej grupy roślin jest zdolność do wiązania azotu atmosferycznego, co ma znaczenie zarówno ekonomiczne jak i ekologiczne (Borowiecki 2004). Rośliny te charakteryzuje dodatni bilans reprodukcji materii organicznej, dlatego stanowią bardzo dobry przedplon dla wielu roślin uprawnych (Dzienia i in. 1989). Szczególnie korzystny wpływ następczy roślin strączkowych obserwuje się w latach o nierównomiernym rozkładzie opadów lub ich niedoborach, gdy słabe jest pobieranie wnoszonego pogłównie azotu mineralnego. Ze względu na korzystny skład chemiczny, nasiona roślin strączkowych stanowią ważny komponent pasz wysokobiałkowych (Pastuszewska 1997), a także cenny składnik diety człowieka (Lampart-Szczapa 1997). Największe znaczenie gospodarcze w naszej strefie klimatycznej mają groch siewny, bobik oraz łubiny: żółty, biały i wąskolistny. Ze względu na bardzo duży potencjał plonotwórczy oraz łatwy zbiór mechaniczny szczególnie cenną rośliną strączkową jest bobik. Duży postęp hodowlany, którego przejawem było między innymi uzyskanie samokończących odmian bobiku, charakteryzujących się skróconym okresem wegetacji i dużą równomiernością dojrzewania, ale niższym poziomem plonowania niż odmiany tradycyjne (Borowiecki i in. 1992), pozwala na coraz szerszy zasięg uprawy tego gatunku. Plony nasion bobiku w doświadczeniach COBORU przekraczają niekiedy 4 t/ha, ale w produkcji są zdecydowanie niższe i wynoszą około 2,5 t/ha. Występuje jednak duże zróżnicowanie poziomu plonowania w poszczególnych latach, wynikające między innymi z dużej wrażliwości bobiku na niesprzyjające warunki pogodowe. Zawodność plonowania oraz stosunkowo długi okres wegetacji są jednymi z ważniejszych przyczyn ciągle niezbyt dużego zainteresowania uprawą tego gatunku. Z danych FAO wynika jednak, że powierzchnia uprawy bobiku w świecie i Europie w ostatnich latach zwiększa się (FAOSTAT 2004). Przykładem tego może być Wielka Brytania, gdzie areał uprawy tego gatunku w ostatnim 10-leciu zwiększył się kilkakrotnie i przekracza obecnie 200 tys. ha, a zbiory nasion w roku 2002 wynosiły ponad 550 tys. ton (UNIP 2002). Plony nasion bobiku w krajach Unii Europejskiej są o około 35% większe niż w Polsce i wynoszą w granicach 3,5-4,0 t/ha (Lacampagne 2001). Ważnym zadaniem w hodowli bobiku jest obok zwiększenia wielkości i wierności plonowania oraz skrócenia okresu wegetacji uzyskanie genotypów białokwitnących o mniejszej zawartości tanin w nasionach.

Zdaniem wielu naukowców najważniejszą zasadą w nowoczesnym rolnictwie XXI wieku powinno być racjonalne wykorzystanie zasobów środowiska przyrodniczego. Stwarza to konieczność poszukiwania nowych, bezpiecznych sposobów podwyższania wielkości i jakości plonów roślin uprawnych. Jednym z ważniejszych czynników plonotwórczych jest dobra jakość i odpowiednie przygotowanie materiału siewnego, mające na celu polepszenie kiełkowania nasion oraz zwiększenie wigoru wyrosłych z nich siewek (Górecki, Grzesiuk 1994). Młode rośliny o większej „sile życiowej” są mniej porażane przez choroby, lepiej się rozwijają i znoszą oddziaływanie niekorzystnych czynników siedliska. Od jakości wschodów, czyli ich równomierności oraz długości okresu od siewu do pojawiania się pierwszych siewek zależą w dużej mierze późniejszy rozwój i plonowanie roślin. Dlatego obecnie prowadzi się coraz więcej badań związanych z chemicznymi, fizycznymi i fizjologicznymi metodami ulepszania materiału siewnego (Dziamba i Koper 1992, Górecki i Grzesiuk 1994, Podleśny i Podleśna 2004, Rochalska 2002b). Najskuteczniejsze i najczęściej stosowane w praktyce są metody chemiczne związane z zaprawianiem nasion różnymi substancjami (zaprawy nasienne, regulatory wzrostu itp.). Jednak stosowane środki mimo ich dużej skuteczności stanowią zagrożenie dla środowiska. Wiele substancji aktywnych może bowiem przenikać do wnętrza nasion, modyfikując ich skład chemiczny a także zanieczyszczać środowisko glebowe. Dlatego coraz większą uwagę przywiązuje się obecnie do niektórych fizycznych czynników mogących mieć zastosowanie w przedsięwziętej obróbce nasion (Andruszkin i in. 1977, Drozd i in. 1998, Dubrov 1978, Friedman i in. 1991, Gładyszewska 1999, Wilde i in. 1969). Przeważa bowiem pogląd, że czynniki fizyczne pobudzając nasiona do kiełkowania stymulują jedynie przebieg zachodzących w nich zmian fizjologicznych i biochemicznych, są zatem bezpieczne dla środowiska (Dziamba i Zarębski 1993, Galova 1996, Inyushin 1977, Koper 1994, Pietruszewski 1993, Podleśny 1998, Maling i Weissbluth-Jacobs 1965). Metody fizyczne z pewnością nie zastąpią skutecznych metod chemicznych, ale mogą być dobrym ich uzupełnieniem.

Jednym z czynników fizycznych mogących mieć zastosowanie w stymulacji kiełkowania oraz wzrostu i rozwoju roślin jest pole magnetyczne, którego oddziaływanie na nasiona i rozwój roślin dostrzegalne jest nawet przy małych wartościach indukcji (Boe i Salunke 1963, Bovelli i Bennici 2000, Dudin 1983, Dulbińska 1973, Phirke i in 1996, Pittman 1963). Przykładem tego może być obserwowany wpływ ziemskiego pola geomagnetycznego na kiełkowanie, wzrost i rozwój roślin, a także dobrze zbadane i opisane zjawisko geomagnetotropizmu kiełkujących nasion i siewek. Dotychczas przeprowadzono niewiele

badania dotyczących wpływu silniejszych od ziemskiego pól magnetycznych na zmiany w nasionach i późniejszy rozwój wyrosłych z nich roślin. Z nielicznych prac wynika, że pole magnetyczne oddziałując na nasiona niektórych gatunków roślin uprawnych może modyfikować ich rozwój, przyspieszając między innymi zakwitanie i dojrzewanie roślin oraz powodować znacznąwyżkę plonu. Doniesienia literatury krajowej i zagranicznej wskazują przede wszystkim na korzystny wpływ traktowania nasion polem magnetycznym, określanym często mianem stymulacji magnetycznej na wzrost, rozwój i plonowanie niektórych gatunków zbóż i warzyw (Chao i Walker 1967, Hirota i in 1999, Pittman i Anstey 1967, Pittman i in. 1977, Pietruszewski i in. 2002a, Prokop i in. 2002a). Poszczególne gatunki, a nawet odmiany reagują w różnym stopniu na działanie pola magnetycznego – wielkość uzyskiwanych efektów zależy w dużej mierze od parametrów pola magnetycznego określanego wartością indukcji magnetycznej. W literaturze przedmiotu jest niewiele badań dotyczących wpływu traktowania nasion polem magnetycznym na rozwój i plonowanie roślin strączkowych, w tym zupełny brak badań w odniesieniu do bobiku. Celowość przeprowadzenia tego typu badań w odniesieniu do bobiku wydaje się być szczególnie uzasadniona ze względu na jego dużą zmienność plonowania w latach oraz stosunkowo długi okres wegetacji.

W hipotezie roboczej przeprowadzonych badań zakładano, że przedsiewne traktowanie nasion bobiku polem magnetycznym może powodować zmiany niektórych procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach, które wpłyną korzystnie na wzrost i rozwój roślin, w wyniku czego będzie przyspieszone dojrzewanie i wyżka plonu roślin z nich wyrosłych.

Celem badań będących przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej było:

- Określenie zmian przebiegu niektórych procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach i siewkach dwóch zróżnicowanych morfologicznie odmian bobiku po przedsiewnym traktowaniu nasion polem magnetycznym,
- określenie wpływu stymulacji magnetycznej nasion na przebieg gromadzenia plonu suchej masy poszczególnych organów roślinnych w wybranych, ważniejszych okresach wzrostu i rozwoju bobiku,
- określenie wpływu pola magnetycznego na tempo wzrostu i rozwoju oraz plonowanie tradycyjnych i samokończących genotypów bobiku w warunkach doświadczenia polowego.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

2.1. CHARAKTERYSTYKA NATURALNYCH I SZTUCZNYCH PÓL MAGNETYCZNYCH

Metody fizyczne, a wśród nich oddziaływanie pola magnetycznego na nasiona i rośliny było przedmiotem wielu badań, których początek datuje się już na przełomie XIX i XX wieku. Za pioniera badań dotyczących tej tematyki uznawany jest Tolomei (1893), który jako pierwszy wykazał efekt szybszego kiełkowania nasion pszenicy będących w polu magnetycznym oraz występowanie magnetotropizmu u roślin - szczegółowy opis tego zjawiska wykonał Audus (1960) dopiero w latach 60. ubiegłego stulecia. Zjawisko magnetotropizmu czyli kierunkowego wzrostu różnych części roślin, a szczególnie korzeni w polu magnetycznym zaobserwowali także Krylov i Tarakanova (1960). Ziarniaki kukurydzy ułożone zarodkiem w stronę bieguna południowego szybciej kiełkowały, a wyrosłe z nich siewki cechowały się większym wigorem w stosunku do siewek wyrosłych z nasion ułożonych w kierunku bieguna północnego. Korzenie tych siewek tworzyły pętlę i ponownie zawracały w kierunku bieguna południowego, co wskazywało bardzo wyraźnie na istnienie geomagnetotropizmu kiełka.

Na początku ubiegłego stulecia Eward (1903) wykazał, że ruch cytoplazmy u roślin wodnych umieszczonych w polu magnetycznym zamiera, jeżeli linie pola magnetycznego są prostopadłe do kierunku jej ruchu, natomiast u roślin umieszczonych w polu równoległym efektu tego nie stwierdzono. Badania te potwierdził Sawostin (1930), który szczegółowo udokumentował spowolnione lub przyspieszone ruchy cytoplazmy w zależności od natężenia i kierunku pola magnetycznego. Zaobserwował on również zwiększoną przepuszczalność błon komórkowych u roślin umieszczonych w polu magnetycznym oraz przyspieszony wzrost korzeni w warunkach większego natężenia pola geomagnetycznego. Kiełki pszenicy rosnącej w tym polu były znacznie dłuższe od kiełków roślin umieszczonych w warunkach hypomagnetycznych, czyli o zmniejszonym natężeniu pola geomagnetycznego.

Efekt magnetotropizmu wykazał również Pittman (1963) w badaniach prowadzonych na zbożach, kukurydzy i fasoli w Prowincji Alberta w Kanadzie. Zaobserwował on uzależnienie dynamiki kiełkowania nasion od kierunku ich ułożenia względem linii sił pola magnetycznego. Nasiona ułożone dłuższą osią symetrii wzdłuż linii sił tego pola kiełkowały wcześniej i równomierniej niż nasiona ułożone prostopadłe. Przyrost długości korzeni siewek

wyrosłych z nasion ułożonych równolegle wyniósł średnio dla badanych gatunków roślin 165%.

Oddziaływanie ziemskiego pola magnetycznego było również przedmiotem wielu badań związanych z jego wpływem na organizmy żywe, w tym na kiełkowanie, wzrost i rozwój roślin oraz zachowanie się i zdrowie ludzi i zwierząt. Składowa pionowa naturalnego pola magnetycznego ziemi waha się w granicach od 0 – 67 μT i jest uzależniona od szerokości geograficznej punktu pomiarowego. W Polsce wartość ta wynosi około 50 μT . Najniższa wartość odpowiada równikowi, a najwyższa biegunom. Zarówno równik magnetyczny jak i bieguny magnetyczne nie pokrywają się z równikiem i biegunami geograficznymi Ziemi. Uogólniając można wnioskować, że Ziemia jest jakby wielkim naturalnym magnesem, którego pole magnetyczne ulega zakłóceniom w krótszych lub dłuższych odstępach czasu. Krótkie zmiany parametrów pola geomagnetycznego ziemi spowodowane są głównie obrotem słońca wokół własnej osi, natomiast długie uzależnione są od zjawisk zachodzących w głębi skorupy ziemskiej oraz od aktywności Słońca, które oprócz światła i fal radiowych wysyła w przestrzeń międzyplanetarną strumień wysokoenergetycznych naładowanych cząstek nazywanych „wiatrem słonecznym”. Cząstki te wywołują zaburzenia pola geomagnetycznego określane jako burze magnetyczne, co przejawia się skokowymi zmianami natężenia pola magnetycznego Ziemi i przemieszczaniem się biegunów magnetycznych. Intensywność ich występowania zależy od aktywności Słońca. Z badań NASA wynika, że w dziejach ziemi zamiana biegunów magnetycznych następowała już wielokrotnie, niosąc ze sobą zmiany procesów ewolucyjnych np. powstanie nowych gatunków zwierząt i roślin oraz katastrofy związane z wymieraniem innych grup fauny i flory. Ziemskie pole magnetyczne chroni mieszkańców Ziemi przed szkodliwym działaniem „wiatru słonecznego”, lecz w okresach jego osłabienia lub całkowitego zaniku osłony magnetycznej zwiększa się promieniowanie jonizujące, co wpływa na zwiększenie liczby mutacji i powstawanie błędów w aparacie genowym (Murphy 1942).

O ścisłym związku pomiędzy zmianami pola magnetycznego a przebiegiem procesów życiowych na Ziemi świadczy wiele przeprowadzonych dotychczas prac naukowych. Według Dubrova (1978) u jego podstaw leży budowa i funkcja błon komórkowych i związane z tym ich biologiczne nadprzewodnictwo wykazane w nielicznych badaniach medycznych i botanicznych. Gwałtowne zmiany wartości parametrów pola magnetycznego stymulują rozwój bakterii i wirusów, co prowadzi do zwiększonej infekcji i zachorowań na niektóre choroby. Na przykład Dubrov (1970) stwierdził wyraźną zależność liczby zachorowań na

szkarlatynę od zaburzeń pola geomagnetycznego. Chervinets (1975) i Pawłowicz (1975) wykazali, że ekranowanie mikroorganizmów przed oddziaływaniem pola geomagnetycznego prowadzi do hamowania ich wzrostu i powstawania mutantów.

Stwierdzenie korzystnego oddziaływania pola geomagnetycznego na intensywność procesów życiowych było inspiracją do podjęcia badań nad wpływem sztucznych pól magnetycznych na obiekty biologiczne. Dotychczas przeprowadzono jednak niewiele badań dotyczących wpływu stałych pól magnetycznych na kiełkowanie nasion, wzrost i plonowanie wyrosłych z nich roślin. Większość badań przeprowadzono na roślinach rolniczych, warzywnych a nawet drzewach i krzewach owocowych, stosując różne dawki ekspozycyjne regulowane natężeniem pola magnetycznego i czasem jej trwania. Lebediev i in. (1975) wykazali, że rośliny pszenicy, soi, fasoli i słonecznika rosnące w stałym polu magnetycznym o indukcji 240 – 660 mT szybciej kiełkują, mają bujniejszy wzrost, przyspieszone kwitnienie i owocowanie oraz wyższe plonowanie - nie stwierdzono przy tym występowania roślin z anomaliasami i mutacjami.

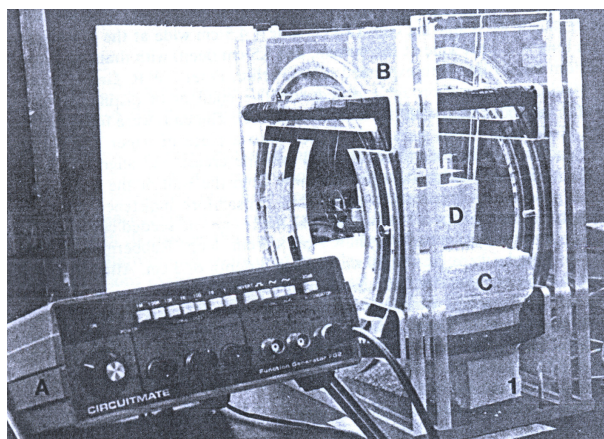
Jeszcze mniej prac opublikowano w literaturze naukowej na temat wpływu zmiennych pól magnetycznych o niskiej (0,1-300 Hz) i wysokiej (powyżej 10 kHz) częstotliwości na nasiona i rozwój roślin. Pole elektromagnetyczne o niskiej częstotliwości ma zbyt małą energię aby podwyższać temperaturę obiektu lub spowodować rozerwanie wiązań chemicznych cząstek związków organicznych. Wywołuje jedynie efekty nietermiczne. Natomiast pole elektromagnetyczne o częstotliwościach wysokich (radiowych i mikrofalowych) działa poprzez przekazanie energii organizmowi znajdującemu się w jego zasięgu, wywołując efekty termiczne np. podniesienie temperatury nasion. Mikrofałe działają na cząsteczki wody, co znaczy że efekt ich działania zależy od stopnia uwodnienia obiektu. Przy długotrwałym czasie ekspozycji spowodować mogą odparowanie lub nawet wrzenie wody w całej objętości nasion.

Zmienne pola magnetyczne zarówno o niskiej jak i wysokiej częstotliwości, podobnie jak pola stałe wywierają korzystny wpływ na kiełkowanie nasion i wzrost roślin, co może wskazywać na podobny mechanizm działania na nasiona obydwu rodzajów pól. Dostarczając energię pole magnetyczne znosi efekt działania niskiej temperatury, poprzez zwiększenie aktywności wielu enzymów i przyspieszenie procesów metabolicznych w komórkach, przyspiesza kiełkowanie i rozwój roślin (Olchowik i Gawda 2002, Prokop i in. 2002b).

2.2. URZĄDZENIA DO BIOSTYMULACJI NASION POLEM MAGNETYCZNYM

Na podstawie danych literatury krajowej i zagranicznej można wnioskować, że dotychczas wykonano już wiele urządzeń wytwarzających stałe lub zmienne pola magnetyczne, służących do stymulacji nasion. Budowa tych urządzeń oparta jest na magnesach trwałych lub elektromagnesach zasilanych prądem stałym lub zmiennym (Chao i Walker 1967, Pittman i Anstey 1967, Romana i in. 1998). W literaturze naukowej dotyczącej stymulacji magnetycznej nasion autorzy podają jednak najczęściej tylko wielkości charakteryzujące uzyskane pole magnetyczne (indukcja, częstotliwość itp.) a nie przedstawiają szczegółowego opisu konstrukcji stosowanych urządzeń.

Obecnie budowane urządzenia przystosowane są nie tylko do przedsięwziętej obróbki nasion, ale również umieszczonych w nich roślin (rys.1). Podstawową zasadą w konstrukcji takich urządzeń jest uzyskanie jednorodnego pola magnetycznego o wymaganych parametrach, głównie o określonej indukcji magnetycznej. Aby uzyskać takie parametry do ich budowy wykorzystuje się elektromagnesy i magnesy stałe w kształcie pierścienia lub kwadratu (Pittman i Anstey 1967, Smith i in. 1993). Uzyskane wówczas zmienne lub stałe pole magnetyczne cechuje duża jednorodność natężenia w całym obszarze jego działania.



- A – generator
- B – elektromagnes
- C – rama ze styropianu
- D – stymulowane rośliny

Rys. 1. Urządzenie do traktowania nasion i roślin polem magnetycznym (Smith i in. 1993)

W polskich warunkach urządzenie do stymulacji nasion polem magnetycznym wykonano w Katedrze Fizyki Akademii Rolniczej w Lublinie (Pietruszewski i Kornarzyński 1999). Podstawowym elementem urządzenia jest elektromagnes składający się z rdzenia wykonanego ze stali transformatorowej w kształcie litery „C”, na który zostało nawiniętych sześć uzwojeń. Ruchoma część rdzenia pozwala na płynną regulację zmian szerokości szczeliny. Dzięki tej regulacji uzyskuje się płynną zmianę indukcji magnetycznej w zakresie od 30 do 100 mT.

2.3. MECHANIZM ODDZIAŁYWANIA POLA MAGNETYCZNEGO NA NASIONA I ROZWÓJ ROŚLIN

Mechanizm oddziaływania pola magnetycznego na organizmy żywe, w tym roślinne nie został jeszcze dokładnie poznany i wyjaśniony, pomimo że w wielu przeprowadzonych dotychczas eksperymentach stwierdzono korzystny wpływ stymulacji magnetycznej na ich wzrost i rozwój. Uzyskiwane pozytywne efekty uzależnione były od wielu czynników, w tym między innymi od dawki ekspozycyjnej, rodzaju pola magnetycznego, wilgotności nasion, gatunku i odmiany badanej rośliny, co znacznie utrudnia porównanie uzyskanych rezultatów badań. Pomimo, że obecnie do dyspozycji nauki można wykorzystywać wiele nowoczesnych urządzeń i technik badawczych, które znacznie poszerzają zakres wiedzy dotyczący tych zagadnień, to jednak do poprawnego zinterpretowania i właściwego wyjaśnienia tego zjawiska potrzeba wielu badań szczegółowych z zakresu biochemii i fizjologii roślin. Nie mniej prowadzone obecnie precyzyjne badania dotyczące tej tematyki pozwalają znacznie przybliżyć wiedzę dotyczącą tych zagadnień. Zjawisko oddziaływania pola magnetycznego na materiał siewny próbuje się wyjaśnić na podstawie formułowanych hipotez – niektóre z nich w znacznym stopniu zostały udokumentowane wynikami badań. Zdaniem Aristarchova i in. (1978) pole magnetyczne wpływa na zmiany szybkości lub mechanizmu dyfuzji jonów i orientacji biologicznych molekuł obdarzonych podatnością magnetyczną, co może powodować zmianę przebiegu reakcji biochemicznych na skutek działania pola magnetycznego na struktury elektronowe molekuł. Również z badań Tugulea i in. (2000) wynika, że pole magnetyczne oddziałując na struktury błon komórkowych zwiększa ich przepuszczalność i transport jonów w kanałach jonowych, co wpływa na aktywację wielu szlaków metabolicznych. Panuje pogląd, że nasiona poddane wpływom stymulacji magnetycznej wykazują podwyższoną aktywność enzymów kontrolujących poszczególne etapy kiełkowania nasion, co powoduje zwiększone zaawansowanie procesów kiełkowania oraz wcześniejsze i bardziej równomierne wschody roślin (Aksynov i in. 2000). Również według Liboffa (1969) i Labelsa (1993), biologiczne działanie pola magnetycznego wpływa głównie na szybkość dyfuzji jonów poprzez membrany komórkowe.

Natomiast Sedlak (1975, 1988) uważa, że energia uzyskana z oddziaływania czynnika fizycznego na przykład pola magnetycznego na nasiona gromadzona jest w komórkach roślinnych pod postacią bioplazmy, którą stanowi przestrzeń wypełniona fotonami i polem elektromagnetycznym, zapewniająca przepływ swobodnej energii dostarczonej przez pola magnetyczne i elektryczne.

Zdaniem Wardasa (1978) pole magnetyczne oddziałuje na organizmy żywe poprzez nieskompensowane spiny elektronowe, działanie na ciekłe kryształy zawarte w organizmach oraz na poruszające się ładunki elektryczne. Niektóre czynniki fizyczne powodują powstanie w białkach złożonych dużej liczby wolnych rodników (Drozd i Szajsner 1997, Drozd i in. 1998, Grzesiuk i Kulka 1988), które w wyniku szybkiej reakcji łańcuchowej z tlenem mogą dawać początek szybko przebiegającym reakcjom utleniania prowadzącym do zmian w wewnętrznych strukturach protoplazmy, spełniających rolę błon półprzepuszczalnych. Pod wpływem tych zmian wzrasta aktywność enzymów hydrolitycznych i zwiększa się pobieranie wody przez nasiona.

Według Grzesiuka i Kulki (1986) wyjaśnienie zjawiska wpływu czynników fizycznych na nasiona jest bardzo trudne, ponieważ czynniki te wpływają bardzo wszechstronnie na przebieg procesów metabolicznych ale w największym stopniu stymulują w nich przebieg procesów enzymatycznych. Potwierdzeniem takiego rozumowania są badania Galovej (1996) i Podleśnego (1998), w których wykazano wyraźny wpływ promieniowania laserowego na aktywność enzymów amylolitycznych w kiełkujących nasionach pszenicy i bobiku. Natomiast Lebiediev i in. (1975) prowadząc badania z nasionami soi, słonecznika i pszenicy poddanymi działaniu pola magnetycznego wykazali również zwiększoną aktywność lipazy, amylazy i katalazy. Natomiast Striekova i in. (1965) stwierdzili zwiększoną syntezę białka i kwasów nukleinowych w nasionach traktowanych polem magnetycznym. Pole magnetyczne przyspieszało także intensywność podziałów komórkowych, co prowadziło do zwiększonej dynamiki wzrostu wegetatywnego roślin. Zwiększoną aktywność niektórych enzymów pod wpływem działania pola magnetycznego stwierdzono nie tylko w nasionach i roślinach ale także w organizmach zwierzęcych (Young 1969). W rozważaniach dotyczących mechanizmu oddziaływania pola magnetycznego na organizmy żywe należy podkreślić fakt, że ich działanie nie jest selektywne, a więc dotyczy wszystkich molekuł.

Wojtusiak i Majlert (1992) dużą rolę w oddziaływaniu pola magnetycznego na organizmy żywe przypisują wodzie, która jest niezbędna do przebiegu wszystkich procesów życiowych i jednocześnie jest bardzo wrażliwa na działanie pól elektromagnetycznych nawet o niewielkiej energii.

Dużą rolę przypisuje się również własnym polom biomagnetycznym obecnym w każdym żywym organizmie. Występowanie takich pól o niewielkim natężeniu wartości kilku gamma stwierdzono w ostatnich latach także w nasionach roślin uprawnych. Według

Wardasa (1978) działanie pola magnetycznego na organizmy żywe odbywa się poprzez jony magnetyczne występujące w różnych stanach magnetycznych i spełniające ważne funkcje w procesach życiowych. Występowanie stanów wzbudzenia jonów i molekuł magnetycznych jest cechą wyłącznie organizmów żywych. Zastosowanie zewnętrznych pól magnetycznych może powodować zmianę ich stanu związaną ze zmianami funkcjonalnymi.

2.4. WPŁYW POLA MAGNETYCZNEGO NA KIEŁKOWANIE NASION I WSCHODY ROŚLIN

Z literatury krajowej i zagranicznej wynika, że pole magnetyczne zmieniając przebieg niektórych procesów fizjologicznych i biochemicznych w nasionach oddziałuje także na kiełkowanie nasion i wschody roślin. Traktowane polem magnetycznym nasiona szybciej pęcznieją i rozpoczynają kiełkowanie, czego efektem są wcześniejsze i bardziej równomierne wschody roślin (Aleksander i in. 1995, Celestino i in. 2000, Hirota i in. 1999, Maronek 1975, Murphy 1942, Podleśny i in. 2004). Także z badań Mischczenki (1980) wynika, że traktując nasiona polem magnetycznym można zwiększyć ich zdolność kiełkowania nawet o kilkanaście procent w stosunku do kontroli.

Siewki wyrosłe z nasion stymulowanych wytwarzają dłuższą łodygę i korzeń oraz charakteryzuje je często większy wigor. Z badań Strekovej i in. (1965) wynika, że pole magnetyczne przyspieszając intensywność podziałów komórkowych, prowadzi do zwiększonej dynamiki wzrostu wegetatywnego roślin. Przyrost długości koleoptyla siewek żyta, łubinu żółtego i ogórków wyrosłych z nasion umieszczanych przedsięwnie w polu magnetycznym w porównaniu do roślin z obiektu kontrolnego wynosił odpowiednio: 28, 50 i 46%, a korzeni odpowiednio 48, 64 i 41%.

Dodatni wpływ pola magnetycznego na kiełkowanie i wzrost młodych siewek pszenicy ozimej i jęczmienia wykazano także w badaniach kanadyjskich prowadzonych w prowincji Alberta (Pittman i in. 1977). Wyraźne różnice między roślinami wyrosłymi z nasion stymulowanych i kontrolnych obserwowano w odniesieniu do długości oraz suchej masy koleoptyla i korzeni.

Na ogół uważa się, że pole magnetyczne o małym natężeniu wpływa korzystnie na kiełkowanie i rozwój roślin a pole magnetyczne o dużym natężeniu może zmniejszać zdolność kiełkowania i ograniczać rozwój roślin. W przeprowadzonych dotychczas badaniach stosowano dawki ekspozycyjne pola magnetycznego, określane najczęściej wielkością indukcji magnetycznej i czasem ekspozycji (Rochalska 2003). Uzyskane rezultaty badań nie

dają podstaw do jednoznacznego określenia granicznych dawek pola magnetycznego wpływających korzystnie na wzrost i rozwój roślin. Prowadzono bowiem badania z różnymi gatunkami roślin, w różnych warunkach glebowo-klimatycznych i stosując różnorodne urządzenia do wytwarzania pól magnetycznych.

W polskich warunkach korzystny wpływ pola magnetycznego na kiełkowanie pszenicy wykazał Pietruszewski (1999). W wyniku traktowania nasion polem magnetycznym uzyskał on zdecydowane przyspieszenie kiełkowania i zwiększenie ich zdolności kiełkowania. Natomiast z badań Podleśnego i in. (2004) wynika, że efekt stymulacji magnetycznej nasion łubinu białego jest różny w poszczególnych etapach kiełkowania i jest najbardziej widoczny w początkowym okresie wschodów roślin. Podobne wyniki uzyskali Pietruszewski i in. (2002a, 2002b) oraz Prokop i in. (2002a) w doświadczeniach z nasionami warzyw. Przedsiewna stymulacja polem magnetycznym nasion cebuli, kapusty białej, rzodkiewki i rzodkwi pozytywnie wpłynęła na kiełkowanie nasion w zależności od zastosowanych dawek indukcji pola magnetycznego i czasu ekspozycji.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że bardzo dobre efekty oddziaływania pola magnetycznego na kiełkowanie nasion uzyskuje się w odniesieniu do drzew owocowych. Badania Chao i Walker (1967) przeprowadzone na Uniwersytecie Stanowym w Logan wykazały bowiem, że stymulacja nasion polem magnetycznym przyspiesza kiełkowanie i zwiększa bardzo wyraźnie liczbę kiełkujących nasion jabłoni, brzoskwini i moreli.

Wielkość efektu oddziaływania czynników fizycznych na nasiona roślin uprawnych zależy bardzo często od wilgotności materiału siewnego poddawanego takiej obróbce. Nasiona wilgotniejsze są bardziej podatne na działanie czynników fizycznych niż nasiona suche. Metabolizm nasion wilgotnych jest zdecydowanie szybszy niż suchych, bardziej zawansowane są również procesy biochemiczne zatem stymulacja tych procesów czynnikami fizycznymi jest o wiele efektywniejsza. Badania Kornarzyńskiego i Pietruszewskiego (1999) wskazują na istnienie takiej zależności również w odniesieniu do pola magnetycznego. Nasiona pszenicy zawierające więcej wody, w wyniku stymulacji polem magnetycznym wschodziły wcześniej i równomierniej niż kontrolne. Podobne wyniki uzyskał Karaja (1988), stwierdzając że energia kiełkowania ziarniaków pszenicy znacząco wzrasta jeżeli przed stymulacją magnetyczną nasiona zostaną wcześniej namoczone.

Traktowanie nasion polem magnetycznym wpływa na przedłużenie ich żywotności. Stwierdzono, że nasiona uprzednio poddane działaniu zmiennego pola magnetycznego wykazują zwiększoną aktywność katalazy, peroksydazy i dysmutazy – enzymów

przedłużających ich żywotność. Zwiększona aktywność tych enzymów chroni roślinę przed szkodliwym działaniem nadtlenu co zwiększa jej odporność na niekorzystne działanie czynników siedliska takich jak niska temperatura czy susza. Rochalska (2002b) stwierdziła że, korzystne działanie pola magnetycznego uwidacznia się szczególnie u nasion kiełkujących w niesprzyjających warunkach środowiska lub nasion o obniżonych parametrach jakościowych.

2.5. ODDZIAŁYWANIE POLA MAGNETYCZNEGO NA WZROST, ROZWÓJ I PLONOWANIE ROŚLIN

Od dynamiki kiełkowania nasion w dużym stopniu zależy przebieg wzrostu i rozwoju roślin w późniejszych etapach ontogenezy. Siewki roślin wyrosłych z nasion szybko kiełkujących charakteryzuje na ogół większy wigor i bardziej dynamiczny wzrost. Wyrosłe z nich rośliny są natomiast odporniejsze na niekorzystne czynniki środowiska, szybciej rosną i lepiej plonują. Zatem pole magnetyczne przyspieszając wschody roślin i zwiększając wigor siewek wpływa także na późniejszy rozwój roślin. Badania Lebiedieva i in. (1975) wykazują, że rośliny soi wyrosłe z nasion stymulowanych polem magnetycznym były wyższe niż w obiektach kontrolnych i zdecydowanie wcześniej zakwitły. Skrócenie okresu wegetacji, wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie jest według Grzesiuka i Kulki (1986) częstym efektem oddziaływania czynników fizycznych na materiał siewny roślin. Potwierdzeniem tego są badania Podleśnego (2002), w których wykazano wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie łubinu białego wyrosłego z nasion traktowanych przed siewem promieniami laserowymi. Boe i Salunkhe (1963) stwierdzili zdecydowanie szybsze dojrzewanie owoców pomidora uzyskanych z roślin wyrosłych z nasion poddawanych działaniu pola magnetycznego w porównaniu do roślin obiektu kontrolnego. Wskaźnik dojrzewania mierzony stosunkiem owoców wcześniej dojrzałych do całkowitej liczby owoców dojrzałych był szczególnie korzystny w późniejszym okresie ich wzrostu i rozwoju. Przyspieszenie dojrzewania może mieć duże znaczenie w uprawie gatunków roślin o długim okresie wegetacji, których zbiór wypada często w miesiącach jesiennych - zbiera się wówczas plony o słabej wartości paszowej i siewnej.

Następstwem wcześniejszego kiełkowania i przyspieszonego rozwoju roślin wyrosłych z nasion stymulowanych jest często wyższa plonowość (Grzesiuk i Kulka 1986). Z badań Pittmana i in. (1977) wynika, że reakcja różnych gatunków zbóż na działanie pola magnetycznego jest niejednakowa i zależy od warunków klimatyczno-glebowych.

Największą zwyżkę plonów na skutek traktowania nasion polem magnetycznym uzyskano w uprawie jęczmienia i pszenicy. Natomiast Vakaharia i in. (1991) donosi o korzystnym wpływie pola magnetycznego na plonowanie orzeszków ziemnych. W polskich warunkach Pietruszewski (1999) wykazał korzystny wpływ pola magnetycznego na plonowanie pszenicy jarej odmiany Henika i Jara. Stymulacja nasion polem magnetycznym wpływała korzystnie na kształtowanie takich cech plonotwórczych pszenicy jak: długość kłosa, liczba nasion w kłosie, liczba kłosów i masa nasion z 1m². Potwierdzeniem tych badań są wyniki uzyskane przez Rochalską (2002a), w których wykazano że ziarniaki pszenicy jarej odmiany Jota i Sigma oraz pszenżyta jarego odmiany Jago poddane działaniu zmiennego pola magnetycznego o niskiej częstotliwości wykazywały zwiększoną połowę zdolność wschodów, a wyrosłe z nich rośliny charakteryzowała lepsza krzewistość, przyspieszony rozwój oraz większa długość kłosów, liczba i masa ziarniaków. Przeprowadzone w ostatnich latach badania Podleśnego i in. (2004) dowodzą, że przedsięwzięta stymulacja nasion polem magnetycznym może wpływać także korzystnie na kształtowanie cech morfologicznych i plonowanie niektórych gatunków roślin strączkowych.

Shiyan (1979) stwierdził wzrost masy roślin i szybszy rozwój systemu korzeniowego pszenicy ozimej, której nasiona traktowane były polem magnetycznym o indukcji 0,5 T. Wzrost plonu na tych obiektach wynosił 16 – 20% w stosunku do plonu z nasion kontrolnych. Podobnie Mieszczenko (1980) w doświadczeniu polowym po potraktowaniu zmiennym polem magnetycznym materiału siewnego uzyskał plony ziarna jęczmienia wyższe o 6 do 11% w stosunku do obiektów kontrolnych.

Na ogół w większości prac poświęconych tej tematyce stwierdzono przyrost plonu badanych gatunków roślin w stosunku do obiektów kontrolnych. W literaturze przedmiotu można jednak spotkać i takie prace w których wpływ stymulacji na wielkość plonu nie zawsze był oczywisty. Na przykład rezultaty badań Pittmana i in. (1977) uzyskane w doświadczeniu polowym z pszenicą, jęczmieniem i owsem nie wykazały jednoznacznie korzystnego wpływu pola magnetycznego o indukcji w zakresie od 5 do 65mT na wielkość uzyskanych plonów. Jedynie jęczmień plonował lepiej przez cały okres prowadzonego eksperymentu, natomiast pszenica - tylko w niektórych latach, a w odniesieniu do owsa nie obserwowano istotnej zwyżki plonu. W przeprowadzonych w ostatnich latach badaniach z dwoma odmianami rzodkwi i jedną odmianą rzodkiewki Prokop i in. (2002a) stwierdzili różny wpływ pola magnetycznego na plon korzeni. Przedsięwzięta stymulacja nasion polem magnetycznym o niskiej indukcji wpływała na wzrost plonu korzeni jednej z odmian rzodkwi,

rzodkiewka natomiast wykazywała istotny wzrost plonu korzeni przy wszystkich zastosowanych dawkach pola magnetycznego. Wskazuje to na zależność efektu działania pola od genotypu roślin i dawki pola magnetycznego.

2.6. WPŁYW POLA MAGNETYCZNEGO NA JAKOŚĆ PLONÓW

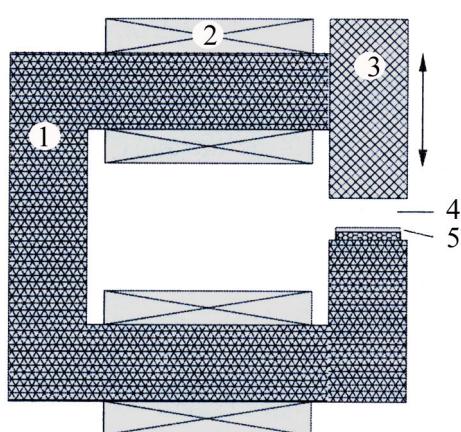
W dostępnej literaturze krajowej i zagranicznej jest niewiele wyników badań dokumentujących w sposób jednoznaczny wpływ traktowania nasion polem magnetycznym na jakość uzyskiwanych plonów. Dodatni wpływ stymulacji magnetycznej nasion na zawartości cukru w korzeniach buraka cukrowego stwierdzili między innymi Pietruszewski i Wójcik (2000), ale istotne różnice wystąpiły tylko w odniesieniu do niektórych odmian i dawek ekspozycyjnych. Natomiast Dulbińska (1973) wykazała dodatni wpływ pola magnetycznego na zawartość azotu w części nadziemnej i korzeniach dwutygodniowych siewek kukurydzy. Również Lebiediev i in. (1975) stwierdzili podwyższenie zawartości sacharozy w komórkach korzeni buraka cukrowego oraz poprawę ich własności technologicznych poprzez zmniejszenie zawartości popiołu. Novikova (1981) wykazała, że zmienne pole elektromagnetyczne powoduje korzystne z punktu widzenia żywieniowego zmiany składu chemicznego roślin warzywnych, takich jak kapusta, cebula, rzodkiew i groch. Z badań Pietruszewskiego i Kornarzyńskiego (1999) wynika, że pole magnetyczne powoduje zwiększenie zawartości glutenu w ziarnie pszenicy uzyskanym z roślin wyrosłych z nasion stymulowanych.

Mimo doniesień o korzystnym wpływie stymulacji magnetycznej nasion na jakość plonu trudno, ze względu na skąpy materiał dokumentacyjny, jednoznacznie określić wpływ tego zabiegu na cechy jakościowe plonu.

Badania związane z oddziaływaniem pola magnetycznego na nasiona i wyrosłe z nich rośliny dotyczą różnych gatunków roślin i mają niejednorodny charakter. Uwzględniają bowiem bardzo rozbieżne dawki ekspozycyjne uzyskiwane w różnych urządzeniach do stymulacji nasion, co znacznie utrudnia porównanie rezultatów uzyskiwanych przez poszczególnych badaczy. Na podstawie opublikowanych prac można jednak stwierdzić, że pole magnetyczne należy do czynników korzystnie wpływających na wigor nasion, równomierność i szybkość wschodów oraz późniejszy rozwój i plonowanie roślin. Istnieją hipotezy i fragmentaryczne badania szczegółowe z pomocą których, próbuje się wyjaśnić sposób oddziaływania pola magnetycznego na nasiona, ale pełne poznanie tego zagadnienia wymaga dalszego prowadzenia badań.

3. MATERIAŁ I METODY

Badania nad oddziaływaniem pola magnetycznego na nasiona, wzrost, rozwój i plonowanie bobiku przeprowadzono w latach 2001 – 2003 w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Doświadczenia wykonano w warunkach polowych, wazonowych i laboratoryjnych. Czynnikiem I rzędu były dwie odmiany bobiku: Nadwiślański – forma tradycyjna i Tim – forma samokończąca, natomiast czynnikiem II rzędu – trzy dawki ekspozycyjne natężenia pola magnetycznego: D_0 – bez stymulacji (kontrola), D_1 – $10750 \text{ Jm}^{-3}\text{s}$ ($B=30\text{mT}$, $s=15 \text{ s}$), D_2 – $85987 \text{ Jm}^{-3}\text{s}$ ($B=85\text{mT}$, $s=15 \text{ s}$). Stymulację magnetyczną nasion wykonano w Katedrze Fizyki AR w Lublinie, wykorzystując specjalnie skonstruowane urządzenie do obróbki przedsiewnej nasion polem magnetycznym (rys.2), wyposażone w elektromagnes zasilany prądem zmiennym o częstotliwości 50Hz z płynną regulacją indukcji magnetycznej (Pietruszewski i Kornarzyński 1999).



- 1 - rdzeń
- 2 - uzwojenia cewek
- 3 - ruchoma część rdzenia
- 4 - szczelina elektromagnesu
- 5 - stymulowane nasiona

Rys. 2. Schemat elektromagnesu stosowanego do stymulacji magnetycznej nasion

3.1. WPŁYW PRZEDSIEWNEJ STYMULACJI MAGNETYCZNEJ NA NIEKTÓRE PROCESY BIOCHEMICZNE I FIZJOLOGICZNE W NASIONACH I ROŚLINACH BOBIKU

Doświadczenia dotyczące wpływu pola magnetycznego na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach bobiku wykonano w Zakładzie Uprawy Roślin Pastewnych IUNG w Puławach.

Określenie aktywności enzymów amylolitycznych wykonano w Instytucie Medycyny Wsi w Lublinie. Nasiona uprzednio poddane stymulacji magnetycznej wysiewano na płytki Petriego, a następnie w odstępach 24 godzinnych dokonywano ich analizy. Wykonywano dokładne pomiary biometryczne nasion, a w późniejszym okresie także wyrosłych z nich

siewek. W każdym terminie zbioru określano zawartość enzymów amylolitycznych. Za miarę aktywności tych enzymów przyjęto ilość glukozy uwolnionej ze skrobi przez kompleks enzymów zawartych w supernatancie, który otrzymano przez dodanie do 0,5 g zmielonego suszu materiału roślinnego 5 ml buforu octanowego o pH 4,8 zawierającego 20 μ mol/l CaCl_2 i wirowanie w ciągu 10 min przy 3000 obr./min. Do 0,5 ml supernatantu dodawano 0,5 ml 0,5% roztworu skrobi i prowadzono w ciągu 10 min hydrolizę w temperaturze 37°C. Zawartość glukozy oznaczono zmodyfikowaną metodą Somogy–Nelsona (1952), stosowaną najczęściej w badaniach biochemicznych do oznaczania zawartości cukrów redukujących. W metodzie tej wykorzystuje się redukcję barwną odczynnika arsenomolibdenowego z jonami miedziowymi, powstającymi w roztworze w wyniku reakcji odczynnika miedziowego z cukrami redukującymi. Intensywność zabarwienia mierzono kolorymetrycznie przy długości fali $\lambda = 520$ nm. Zawartość cukrów redukujących określono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów glukozy. Aktywność enzymów badano w 7 terminach: bezpośrednio po stymulacji oraz po 24, 48, 72, 96, 120, 144 godzinach od wykonania zabiegu.

Liczbę wolnych rodników w nasionach i roślinach określono w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej UMCS w Lublinie. Po stymulacji magnetycznej nasion część z nich została poddana analizie laboratoryjnej na określenie liczby wolnych rodników, a pozostałe części tej samej partii nasion wysiano do wazonów Mitscherlicha aby uzyskać materiał do analiz w pozostałych terminach zbioru. Liczbę wolnych rodników w nasionach oraz w roślinach określono metodą Elektronowego Rezonansu Paramagnetycznego (Eriksson i in. 1969, Swartz i in 1972, Symons 1978). Pomiary widm EPR zostały przeprowadzone na spektrometrze EPR typu SE/X-2547 z wnęką rezonansową typu CX-101TE₁₀₂. Badany materiał siewny umieszczono w cienkościennej probówce precyzyjnie wykonanej z kwarcu syntetycznego (733-5PQ-7 firmy WILMAD). Kwarc syntetyczny (suprasil) przepuszcza bowiem promieniowanie ultrafioletowe do 200 nm i ułatwia pomiar słabych sygnałów EPR. Rejestrację widm EPR prowadzono przy następujących ustawieniach: częstość mikrofalowa 9,4 ÷ 9,5 GHz, moc mikrofalowa ~ 15 mW, częstość modulacji 100 kHz, amplituda 0,5 mT, stała czasowa 1 s i przemieszczanie 20 mT/4 min. W pomiarach EPR stosowano mikrofałe o długości fali 3×10^{-2} m w polu magnetycznym około 340 mT. Do wyznaczenia koncentracji wolnych rodników użyto jako wzorca *Weak pitch EPR sample (904450-02, $3,3 \times 10^{-4}\%$ pitch in KCl)*. Koncentrację wolnych rodników wyznaczono z porównania widma próbki wzorcowej

z widmami próbek nasion po stymulacji magnetycznej po czym, przeliczono wynik na 1 g nasion. Analizę przeprowadzono w temperaturze pokojowej.

Zawartość niektórych fitohormonów oznaczano w Instytucie Medycyny Wsi w Lublinie, metodą chromatografii wysokociśnieniowej HPLC (Hardin i Stutte 1981, Hirasova 1989, Michalczuk 1997). Analizy wykonano na chromatografie cieczowym HP-1050. Do 10g rozdrobnionej wstępnie masy roślinnej dodawano 100 ml roztworu (2:1) acetonu i wody. Następnie mieszaninę rozdrabniano w moździerzu i całość przechowywano w szczelnie zamkniętej kolbie przez okres 1 doby w temperaturze +4 °C. Zawartość kolby sączono przez spiek szklany, a następnie przesącz zateżano na wyparce próżniowej do objętości mniejszej niż 20 ml na 1 g suchej masy. Roztwór przelewano następnie do pojemników uzupełniając wodą destylowaną do objętości 20 ml na 1 g s.m. i zamrażano w temperaturze -20 °C. Następnie kolejno rozmrażano i wirowano roztwór pobierając 2 razy po 5 ml supernantu. Do pierwszej porcji dodawano 50 µl acetonitrylu a do drugiej 50 µl acetonitrylu zawierającego 10 000 ng IAA i 36 000 ng GA₃. Obydwie porcje zakwaszano do pH = 2 przy pomocy 10% HCL i estrachowano 2 razy po 5 ml - mieszaniny butanol i octan metylu (1:1). Ekstrakty odparowano pod próżnią do sucha (temperatura łaźni 40 °C) i pozostałość rozpuszczono w 10 ml 20% roztworu metanolu w wodzie. Roztwory przepuszczano przez kolumnienki anionitu DOWEX 1 x 8 100-200 Mesch. obj. 1 ml. Następnie przepłukano 10 ml 20% roztworu metanolu a później 10 ml 0,2 N octanem sodu - 80 cz. i metanolu - 20 cz. (V:V). Następnie 20 ml kwasem octowym i metanolem (1:1). Wyciek ten zateżano na wyparce do sucha (temperatura łaźni 40 °C) i dodawano do pozostałości 500 µl fazy ruchomej. Dozowano do pętli w chromatografii cieczowym 20 µl. GA₃ oznaczano na detektorze UV 254 nm, faza ruchoma - 0,15 M octan cynku, 0,05% kwas octowy, 0,75% acetonitrylu. Uzyskane wykresy porównywano z wzorcem planimetrycznie. IAA oznaczano na detektorze fluoroscencyjnym E_x 292, E_m 362, faza ruchoma MeOH, Acetonitryl, Bufor 20/20/60 (0,05 M kwasu octowego, 0,005 M octan sodu). Kolumna ODS Hypersil 5µm 200 x 4,6 nm.

Eksperymenty dotyczące określania aktywności enzymów amylolitycznych, koncentracji wolnych rodników oraz zawartości niektórych fitohormonów w nasionach i roślinach bobiku przeprowadzono w 3 seriach, każda w 4 powtórzeniach.

Analizę statystyczną wykonano w oparciu o półprzedział ufności Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Przebieg zmian ważniejszych cech biologicznych w zależności od dawki ekspozycyjnej pola magnetycznego przedstawiono w postaci krzywych regresji.

3.2. DYNAMIKA GROMADZENIA SUCHEJ MASY ORAZ ROZWÓJ ROŚLIN BOBIKU Z NASION TRAKTOWANYCH POLEM MAGNETYCZNYM

Badanie nad rozwojem oraz dynamiką przyrostu suchej masy bobiku wykonano w hali wegetacyjnej Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach w doświadczeniu wazonowym. Do wazonów Mitscherlicha zawierających mieszaninę 5 kg ziemi ogrodowej i 2 kg piasku wysiano po 10 nasion bobiku, w których bezpośrednio po wschodach dokonano przerywki pozostawiając po 5 roślin w wazonie. Pożywka mineralna jednakowa dla wszystkich roślin składała się z 0,3 g NH_4NO_3 i 4,4 g KH_2PO_4 na 1 wazon. Nawożenie roślin w wazonach dokonano w czasie podlewania, przy użyciu automatycznego i precyzyjnego urządzenia do podlewania z dozownikiem nawozowym. Wilgotność podłoża utrzymywano na poziomie 60 % polowej pojemności wodnej gleby stosując do nawadniania wodę destylowaną.

Od momentu ukazania się pierwszych wschodów liczono rośliny codziennie w celu ustalenia dynamiki wschodów, a w ciągu całego okresu wegetacji prowadzono szczegółowe obserwacje wzrostu i rozwoju roślin. Aby oznaczyć dynamikę przyrostu świeżej i suchej masy przeprowadzono zbiór roślin w 5 terminach T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 (tab. 1). W czasie zbioru z każdej próby w poszczególnych terminach określono: wysokość do wierzchołka rośliny, powierzchnię liściową, liczbę liści oraz świeżą i suchą masę poszczególnych organów roślinnych.

Tabela 1

Zbiory i fazy rozwojowe roślin

Zbiór	Dni po siewie	Fazy rozwojowe roślin
T1	35	rośliny w fazie 2 – 3 liści, intensywne tworzenie brodawek korzeniowych, wysokość roślin około 10 – 12 cm (skala BBA-24).
T2	58	rośliny w fazie 5 – 6 liści, wysokość około 16 – 18 cm, początek tworzenia pąków na roślinie bobiku (skala BBA-28)
T3	65	kwitnienie bobiku, pojawienie się pierwszych zawiązków strąków, wysokość roślin około 55 – 60 cm (skala BBA-64).
T4	88	zawijazywanie strąków i wypełnianie nasion, zahamowanie wzrostu, rośliny osiągnęły wysokość około 65-75 cm (skala BBA-78).
T5	118	dojrzałość pełna nasion, około 90 – 95 % strąków zbrunatniałych, wilgotność nasion około 18% (skala BBA-92).

W późniejszych terminach zbioru dodatkowo określono również: wysokość do pierwszego i ostatniego strąka, liczbę strąków, przeciętną długość strąka, świeżą i suchą masę strączyn, liczbę i masę nasion oraz ich wilgotność. Wyniki badań stanowiły średnie z 3 wazonów.

Dynamikę przyrostu masy określono na podstawie bezwzględnej (GR) i względnej (RGR) szybkości wzrostu wykorzystując wzory E v a n s a (1972):

$$\mathbf{GR} = (W_2 - W_1) (T_2 - T_1)^{-1} \text{ [g/dobę]}$$

$$\mathbf{RGR} = (\ln W_2 - \ln W_1) (T_2 - T_1)^{-1} \text{ [g/g/dobę]}$$

gdzie: W_1 – sucha masa roślin na początku okresu pomiarowego

W_2 – sucha masa roślin na końcu okresu pomiarowego

T_1 – początek okresu pomiarowego

T_2 – koniec okresu pomiarowego.

Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji a istotność różnic określono stosując test Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Przebieg zmian najważniejszych cech morfologicznych i użytkowych roślin w czasie wegetacji sporządzono w formie wykresów regresji.

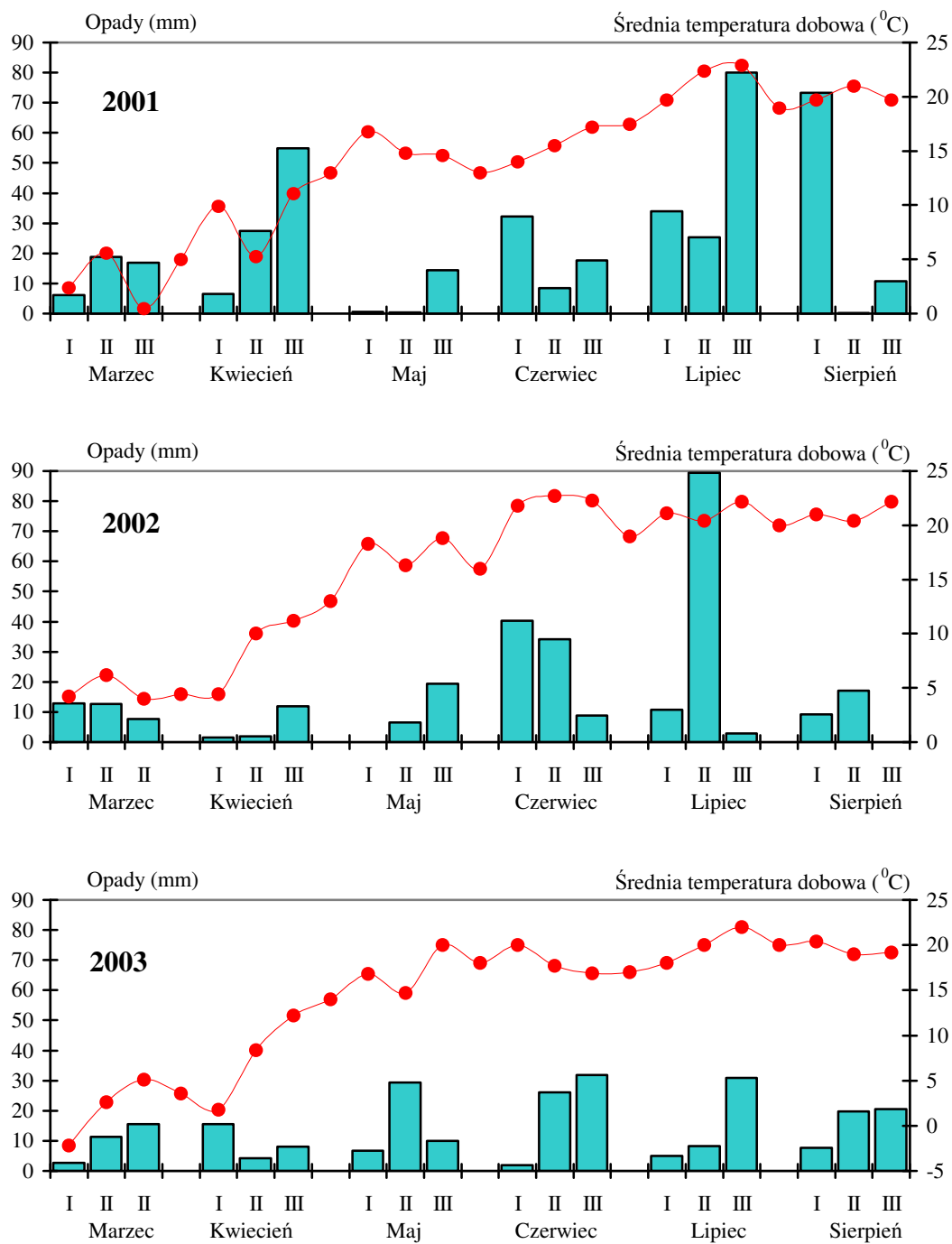
3.3. ODDZIAŁYWANIE POLA MAGNETYCZNEGO NA ROZWÓJ I PLONOWANIE BOBIKU W WARUNKACH POLA DOŚWIADCZALNEGO

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2001 – 2003 w Zakładzie Uprawy Roślin Pastewnych IUNG w Puławach w układzie równoważnych podbloków (split-block) na glebie kompleksu żytniego dobrego klasy IIIa. Przedplonem dla bobiku w każdym roku badań były zboża. Nawożenie mineralne wynosiło P – 20 kg/ha, K – 50 kg/ha i N – 20 kg/ha. Powierzchnia poletek do zbioru wyniosła w roku 2001 - 4 m², a w latach 2002 i 2003 – 12 m². Nasiona wysiewano ręcznie na głębokość 8 – 10 cm w zagęszczeniu 40 roślin na 1 m². Dwa tygodnie przed wysiewem nasiona zaprawiono Funabenem T. W celu równego przykrycia nasion glebą i wyrównania powierzchni pola stosowano bezpośrednio po siewie bronowanie. Po siewie przed wschodami bobiku zastosowano herbicyd Afalon w dawce 1,2 kg/ha. W późniejszym okresie rozwoju roślin pojawiające się chwasty niszczone mechanicznie. W całym okresie wegetacji bobiku prowadzono szczegółowe obserwacje i pomiary roślin oraz ich porażenie przez choroby i szkodniki. Kilkakrotnie podczas wschodów i bezpośrednio przed zbiorem liczono obsadę roślin na powierzchni 1 m². Notowano daty wystąpienia faz

rozwojowych roślin: pełni wschodów, początku i końca kwitnienia, zbrunatnienia około 5 i 80 % strąków. Dokonano oceny stanu zachwaszczenia zasiewów w skali 9° (1° - największe zachwaszczenie, 9° - brak zachwaszczenia). W pełni kwitnienia mierzono na 10 losowo wybranych roślinach: wysokość do wierzchołka oraz powierzchnię liściową usuwając liście z roślin i mierząc ich powierzchnię liściową aparatem do pomiaru powierzchni liściowej LI – 3050A firmy LICOR. Otrzymane wyniki pomiarów przeliczono na powierzchnię 1 m². Natomiast przed zbiorem wybierano z każdego poletka losowo po 10 roślin i określono: wysokość do pierwszego i ostatniego strąka oraz do wierzchołka rośliny, liczbę strąków na roślinie i liczbę nasion na roślinie. Po zbiorze określono: wilgotność nasion, masę 1000 nasion i plon nasion przeliczony do 14 % wilgotności. Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji stosując program Statgraphics 5.1. W analizie statystycznej posługiwano się półprzedziałem ufności Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Przebieg zmian ważniejszych cech biologicznych w zależności od dawki natężenia pola magnetycznego przedstawiono w postaci krzywej regresji.

3.4.CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW POGODOWYCH W LATACH BADAŃ

Przebieg warunków pogodowych w latach badań w rejonie Puław był podobny (rys. 3). Charakteryzował je niedobór opadów występujący w maju 2001 i 2002 roku, a w roku 2003 także w pierwszej dekadzie czerwca, czyli w okresie kwitnienia bobiku. W roku 2002 niedobór opadów wystąpił już w kwietniu, bezpośrednio po siewie nasion bobiku. Szczególnie niekorzystnym do uprawy bobiku okazał się rok 2003, w którym wystąpiła długotrwała susza – średnie opady atmosferyczne w okresie kwiecień – lipiec stanowiły około 50% przeciętnych opadów w analogicznym okresie ostatniego stulecia. Utrzymująca się w okresie wiosenno-letnim wysoka temperatura powietrza jeszcze bardziej potęgowała negatywny wpływ suszy na rozwój roślin bobiku. Opisane warunki pogodowe wpłynęły także na skrócenie okresu wegetacji bobiku, którego długość w latach 2001, 2002 i 2003 wynosiła odpowiednio: 123, 107 i 101 dni. W każdym roku badań średnie temperatury miesięczne były na ogół wyższe od średnich temperatur w analogicznym okresie z wielolecia, dlatego nie zaobserwowano różnic w długości okresów wegetacji między badanymi odmianami bobiku.



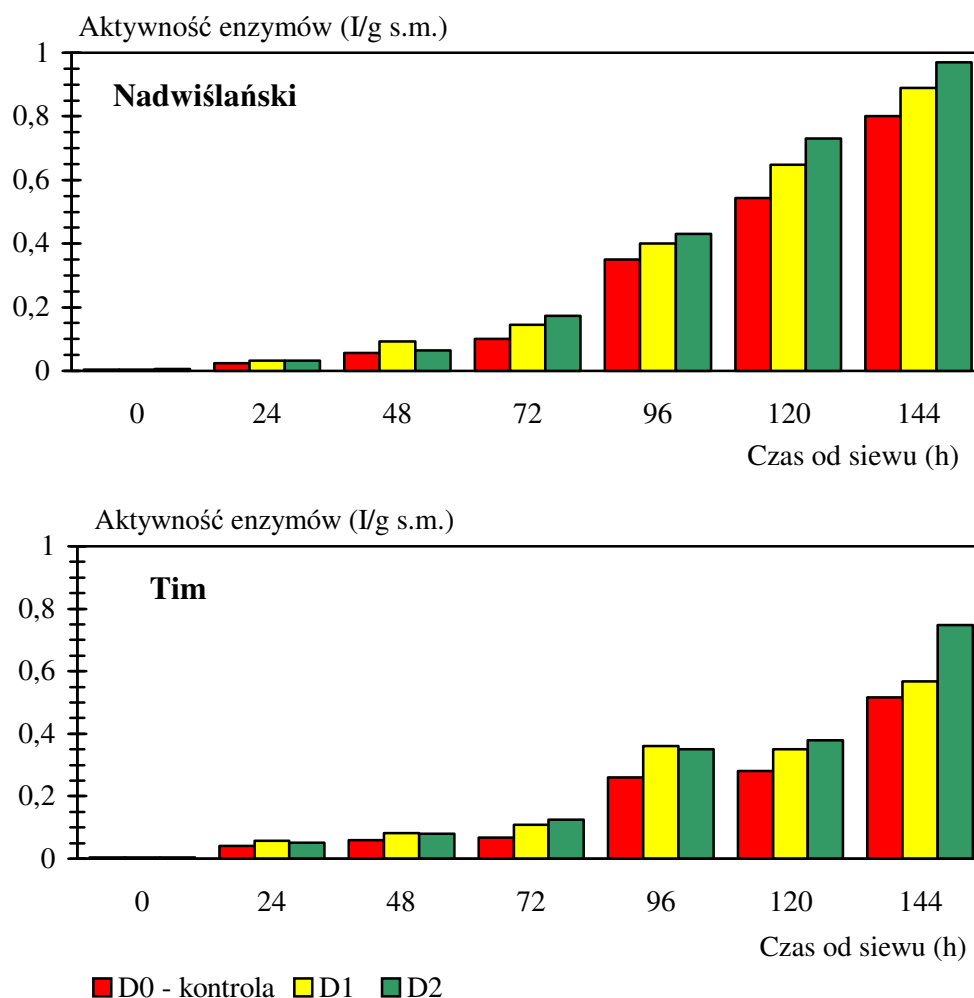
Rys. 3. Przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji bobiku w latach 2001 – 2003 (Stacja Meteorologiczna IUNG w Puławach)

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. WPŁYW POLA MAGNETYCZNEGO NA NIEKTÓRE PROCESY BIOCHEMICZNE I FIZJOLOGICZNE W NASIONACH I ROŚLINACH BOBIKU

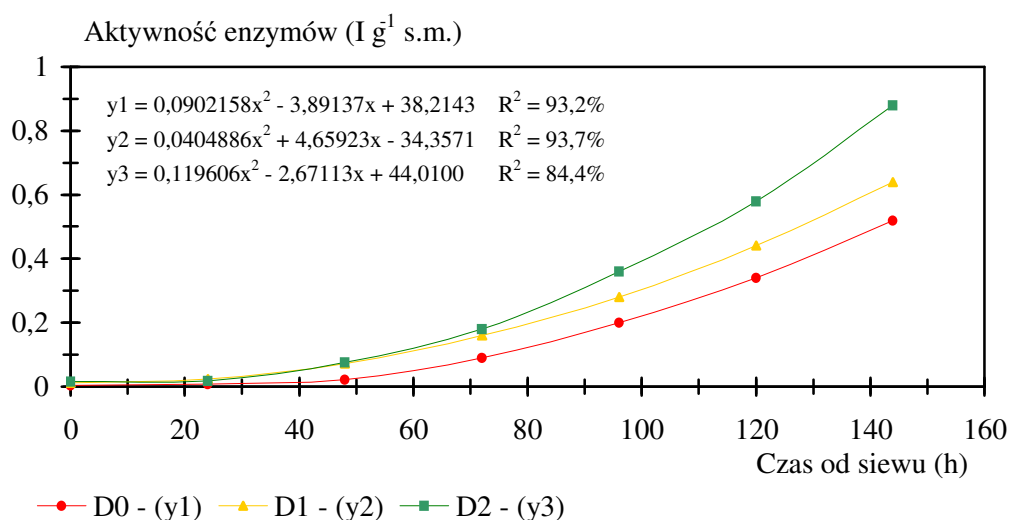
4.1.1. Aktywność enzymów amylolitycznych

Stymulacja magnetyczna powodowała zwiększenie aktywności enzymów amylolitycznych w nasionach i młodych siewkach obydwu odmian bobiku. Zmiana aktywności enzymów pod wpływem działania pola magnetycznego nie była zbyt duża w pierwszych godzinach po wysiewie, ale była bardzo wyraźna w okresie od 24 do 144 godzin po wysiewie nasion (rys. 4).



Rys. 4. Aktywność enzymów amylolitycznych w nasionach i siewkach bobiku traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym

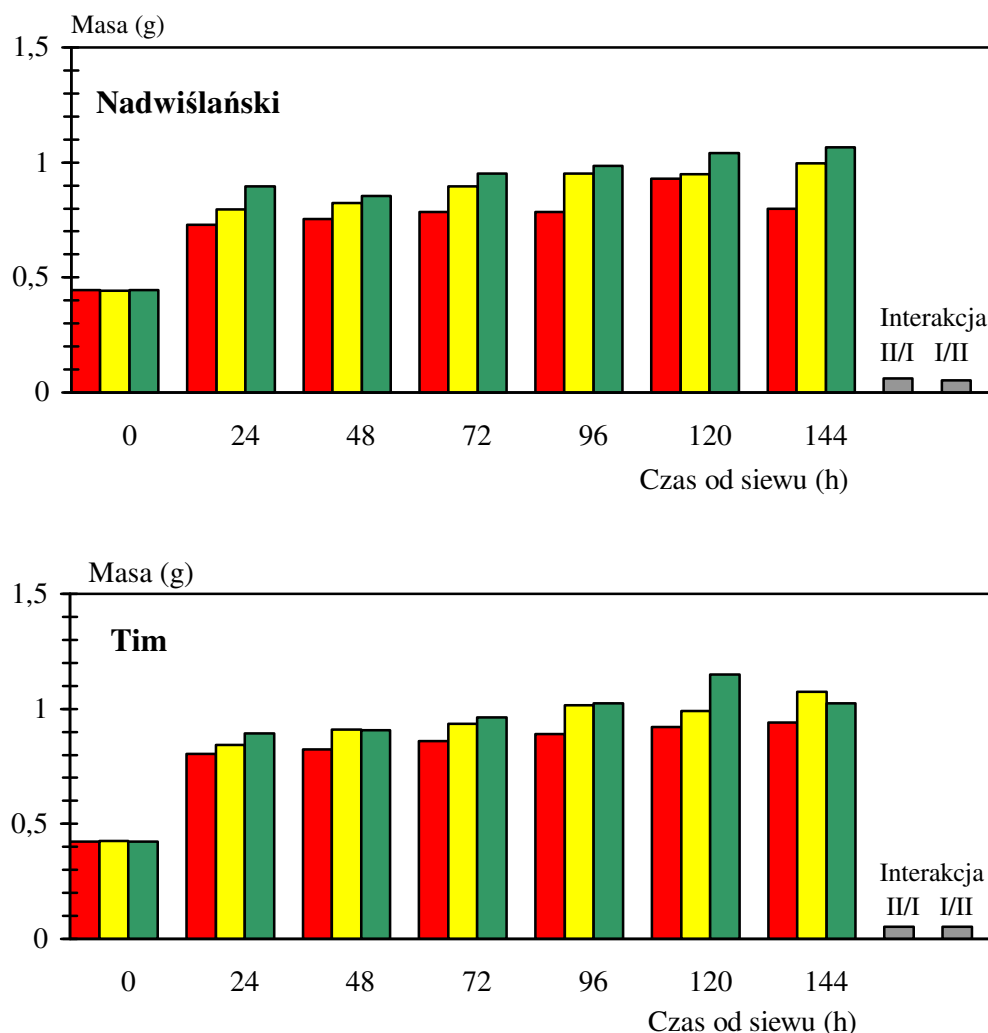
Aktywność badanych enzymów wzrastała w miarę upływu czasu osiągając najwyższą wartość dla obydwu odmian po 144 godzinach od wysiewu. Największe zróżnicowanie aktywności enzymatycznej w nasionach stwierdzono po upływie 96 godzin od wysiewu. Przebieg zmian aktywności w nasionach i siewkach obydwu odmian bobiku był zróżnicowany. Odmiana bobiku Nadwiślański o genotypie tradycyjnym wykazywała wyższą aktywność enzymów amylolitycznych w porównaniu do nasion i siewek bobiku odmiany Tim – typ samokończący. Obie zastosowane dawki indukcyjne pola magnetycznego powodowały podobny efekt, chociaż dawka większa (85 mT) oddziaływała nieco silniej niż dawka mniejsza (30 mT). Zastosowana magnetostymulacja nasion powodowała zwiększenie aktywności enzymów amylolitycznych średnio dla obu dawek po 24, 48, 72, 96, 120 i 144 godzinach od wysiewu u odmiany Nadwiślański odpowiednio o: 33,3; 39,2; 44,0; 18,5; 26,7 i 16,2% a u odmiany Tim: 37,5; 35,0; 36,8; 36,5; 30,4 i 27,5%. Przebieg zmian aktywności enzymów amylolitycznych w nasionach i siewkach obydwu odmian bobiku od siewu do ostatniego terminu pomiaru był podobny, dlatego przedstawiony został w postaci krzywych regresji wspólnych dla obydwu odmian (rys. 5).



Rys. 5. Przebieg zmian aktywności enzymów amylolitycznych w nasionach i siewkach bobiku traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym

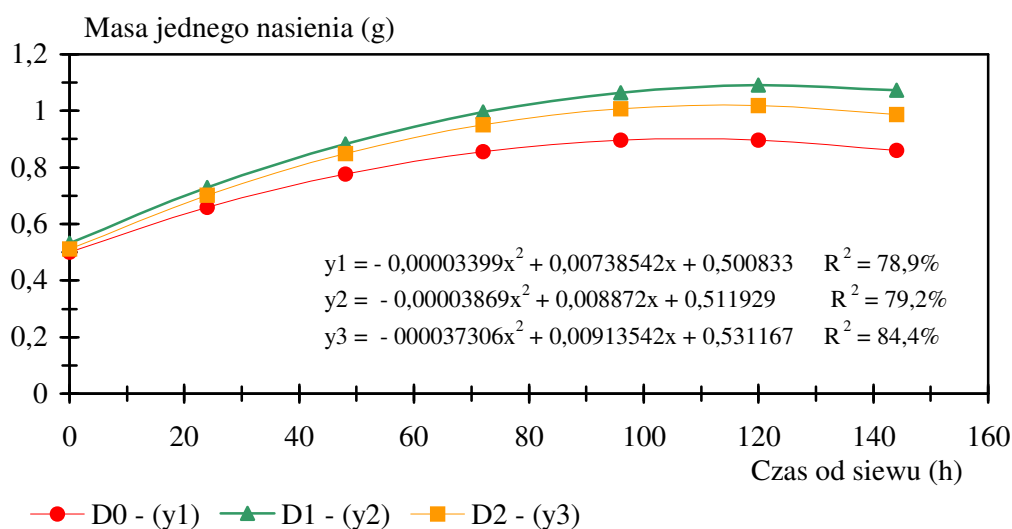
Przedśiewna stymulacja nasion polem magnetycznym wpływała istotnie na szybkość pochłaniania wody i masę pęczniejących nasion (rys. 6). Nasiona uprzednio traktowane polem magnetycznym istotnie zwiększały swoją masę w porównaniu z nasionami niepoddanymi działaniu tego pola. Średnia masa jednego pęczniejącego nasienia i siewki w czasie od

wysiewu do kiełkowania wyniosła u odmiany Nadwiślański 0,80 g, natomiast średnia masa jednego nasienia tej odmiany uprzednio traktowanego polem magnetycznym wynosiła średnio dla obu dawek pola magnetycznego 0,93 g. Analogicznie średnie masy jednego nasienia bobiku odmiany Tim wyniosły odpowiednio: 0,87 i 0,98 g.



Rys. 6. Średnia masa jednego pęczniejącego nasienia i siewki bobiku traktowanego i nie traktowanego polem magnetycznym

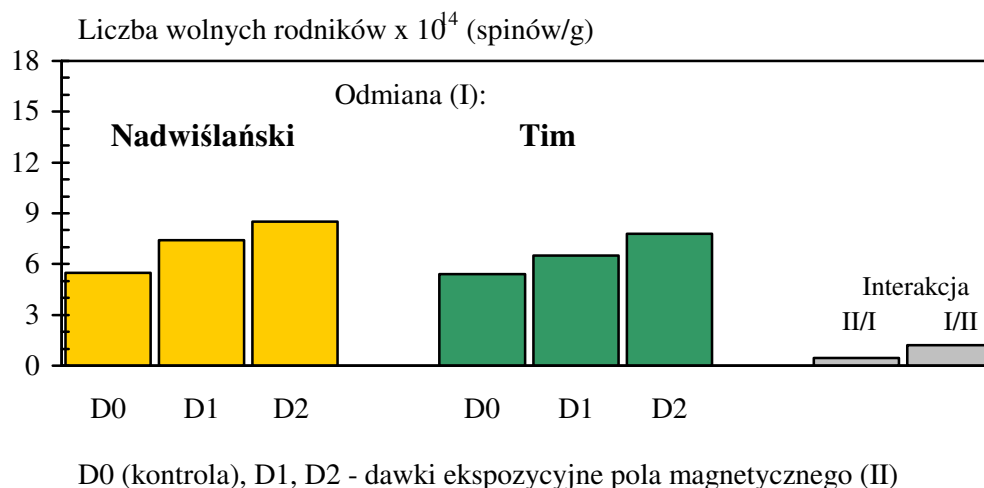
Przedśiewne traktowanie materiału siewnego polem magnetycznym powodowało szybszy przyrost masy pęczniejących nasion, przy czym nie stwierdzono istotnych różnic w przebiegu zmian masy pęczniejących nasion bobiku w zależności od dawki ekspozycyjnej pola magnetycznego (rys. 7). Dawka o indukcji pola 30 mT zwiększała masę pęczniejących nasion bobiku odmiany Nadwiślański o 13,3%, a dawka 85 mT o 21,2% w stosunku do nasion nie poddanych działaniu pola magnetycznego. Nasiona bobiku odmiany Tim zwiększały masę w zależności od dawki ekspozycyjnej odpowiednio o: 10,0% i 13,7%.



Rys. 7. Przebieg zmian masy pęczniejących nasion bobiku w zależności od dawki ekspozycyjnej pola magnetycznego

4.1.2. KONCENTRACJA WOLNYCH RODNIKÓW

Traktowanie materiału siewnego polem magnetycznym wpływało modyfikująco na liczbę wolnych rodników w nasionach obydwu odmian bobiku (rys. 8). Nasiona odmiany Nadwiślański i Tim niepoddane działaniu pola magnetycznego zawierały podobną liczbę wolnych rodników. Zastosowana magnetostymulacja nasion powodowała wzrost liczby



Rys. 8. Liczba wolnych rodników w materiale siewnym traktowanym i nie traktowanym polem magnetycznym

wolnych rodników w nasionach obydwu odmian – w odniesieniu do odmiany Nadwiślański wzrost koncentracji wolnych rodników pod wpływem pola magnetycznego był większy niż w przypadku odmiany Tim. W 1 g nasion bobiku odmiany Nadwiślański było średnio $7,1 \cdot 10^{14}$,

a u odmiany Tim $6,6 \cdot 10^{14}$ wolnych rodników. Stwierdzono również wyraźny wzrost koncentracji wolnych rodników w nasionach poddanych działaniu pola magnetycznego, przy czym koncentracja ta jest wyższa w nasionach potraktowanych dawką o wyższej indukcji (85 mT). Liczba wolnych rodników w nasionach po potraktowaniu polem magnetycznym o indukcji 30 i 85 mT w stosunku do nasion niepoddanych działaniu tego pola zwiększała się u odmiany Nadwiślański odpowiednio o: 34,5% i 54,5%, a u odmiany Tim odpowiednio o: 20,4% i 44,4%.

Badanie laboratoryjne materiału roślinnego uzyskanego z roślin zebranych w fazie 2 – 3 liści wykazały mało zróżnicowaną koncentrację wolnych rodników w poszczególnych organach roślin bobiku (tab. 2). Nieznacznie wyższą koncentrację wolnych rodników w części nadziemnej wykazała odmiana Nadwiślański, natomiast w korzeniach wyższą ich liczbę zaobserwowano w roślinach odmiany Tim. Średnio dla nasion kontrolnych i traktowanych polem magnetycznym dla odmiany Nadwiślański liczba wolnych rodników w łodygach, liściach i korzeniach wynosi odpowiednio: $4,4 \cdot 10^{14}$, $3,3 \cdot 10^{14}$ i $3,4 \cdot 10^{14}$, a odmiany Tim odpowiednio: $3,6 \cdot 10^{14}$, $2,8 \cdot 10^{14}$ i $4,2 \cdot 10^{14}$ spinów/g. W badanym materiale roślinnym nie stwierdzono istotnego wpływu przedsewnej stymulacji nasion polem magnetycznym na koncentrację wolnych rodników w łodygach i korzeniach młodych siewek bobiku. Nieznaczny wzrost liczby wolnych rodników zaobserwowano w liściach młodych roślin bobiku przy wyższej dawce ekspozycyjnej pola magnetycznego (85 mT) w stosunku do kontroli ale różnice te nie zostały udowodnione statystycznie.

Tabela 2

Liczba wolnych rodników w organach roślin wyrosłych z nasion stymulowanych i kontrolnych $\times 10^{14}$ (spinów/g)

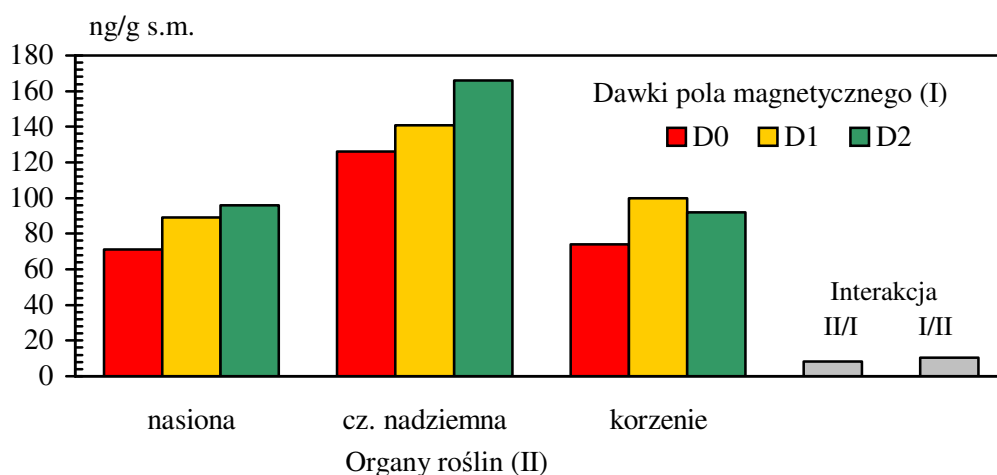
Wyszczególnienie	Łodygi	Liście	Korzenie	Nasiona
Odmiana:				
Nadwiślański	4,4	3,3	3,4	5,3
Tim	3,6	2,8	4,2	5,6
Dawka ekspozycyjna:				
D0	4,7	2,2	3,9	5,4
D1	4,2	2,6	4,1	5,1
D2	4,4	3,0	3,6	5,6

Nie stwierdzono istotnych różnic w ilości wolnych rodników w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z nasion bobiku traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym (tab. 2). Liczba wolnych rodników w 1 g nasion bobiku dla obydwu odmian była bardzo

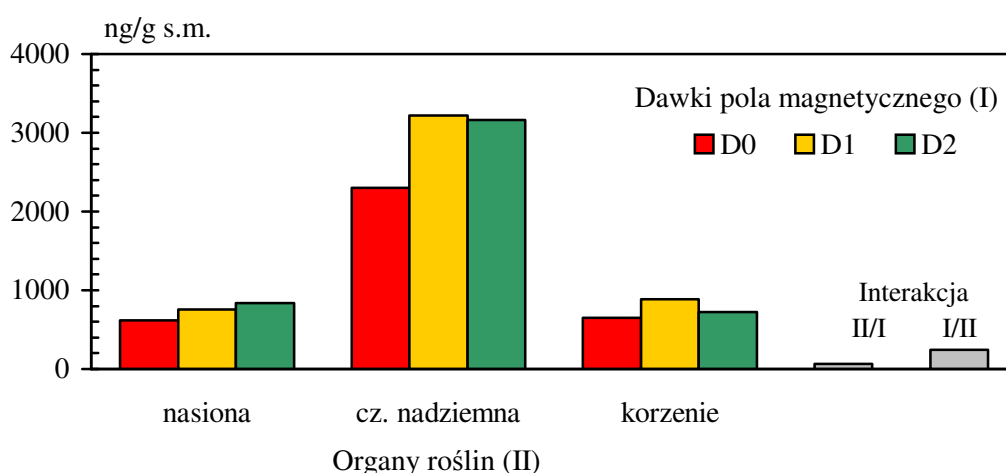
zbliżona i wynosiła dla odmiany Nadwiślański $5,3 \cdot 10^{14}$ a dla odmiany Tim $5,6 \cdot 10^{14}$ spinów/g i nie odbiegała wielkością od liczby uzyskanej w materiale siewnym niepoddanym działaniu pola magnetycznego.

4.1.3. ZAWARTOŚĆ FITOHORMONÓW

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono wyższą zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA) i kwasu giberelinowego (GA_3) w kiełkujących nasionach, częściach nadziemnych i korzeniach roślin wyrosłych z nasion traktowanych polem magnetycznym w stosunku do nasion i roślin nie poddanych działaniu tego pola (rys. 9 i 10).



Rys. 9. Zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w nasionach, części nadziemnej i korzeniach bobiku w zależności od dawki pola magnetycznego



Rys. 10. Zawartość kwasu giberelinowego (GA_3) w nasionach, części nadziemnej i korzeniach bobiku w zależności od dawki pola magnetycznego

Nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości kwasu indolilo-3-octowego i kwasu gibberelinowego pomiędzy badanymi odmianami bobiku. Wyższą zawartość IAA stwierdzono w nasionach i częściach nadziemnych na obiektach, których materiał siewny był traktowany dawką wyższą pola magnetycznego (85 mT), natomiast w korzeniach wyższa zawartość tych auksyn wystąpiła, na skutek traktowania nasion dawką niższą (30 mT). Wyższą zawartość GA_3 w częściach nadziemnych i korzeniach kształtowała dawka niższa pola magnetycznego (30 mT), a w nasionach dawka wyższa (85 mT). Największa zawartość tych fitohormonów wystąpiła w częściach nadziemnych młodych roślin bobiku i tu uwidoczniły się największe różnice w przyroście tych fitohormonów na skutek stosowania stymulacji magnetycznej nasion. Zastosowane obydwie dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (D1 i D2) nie różnicowały zawartości IAA i GA_3 w nasionach i korzeniach roślin bobiku. Istotne różnice w zawartości tych kwasów w nasionach i korzeniach wystąpiły pomiędzy obiektami, w których stosowano stymulację nasion i kontrolnymi. Jedynie wystąpiły istotne różnice w zawartości kwasu indolilo-3-octowego pomiędzy zastosowanymi dawkami pola magnetycznego w częściach nadziemnych młodych roślin. Oddziaływanie pola magnetycznego na materiał siewny zwiększało zawartość IAA w kielkujących nasionach, częściach nadziemnych i korzeniach wyrosłych z nasion traktowanych polem magnetycznym w stosunku do zawartości IAA w organach roślin obiektów kontrolnych o: 30,3; 21,8 i 29,7 % a GA_3 odpowiednio o: 29,0; 38,8 i 24,2 %.

4.2. KIELKOWANIE I WSCHODY

Stymulacja magnetyczna nasion miała wpływ na kielkowanie nasion bobiku (fot. 1). Różnice w przebiegu kielkowania widoczne były już po 24 godzinach od wysiewu, ale



K – kontrola, B – nasiona stymulowane

Fot.1. Kielkowanie nasion stymulowanych polem magnetycznym i kontrolnych

największe różnicowanie dynamiki kiełkowania nasion u obydwu odmian bobiku uwidoczniło się w czasie od 24 do 96 godzin po wysiewie. Istotnie szybszą w tym czasie dynamiką kiełkowania charakteryzowała się odmiana Nadwiślański. Przedstawione w tabeli 3 wyniki wskazują na istotne różnice w dynamice kiełkowania materiału siewnego obydwu

Tabela 3

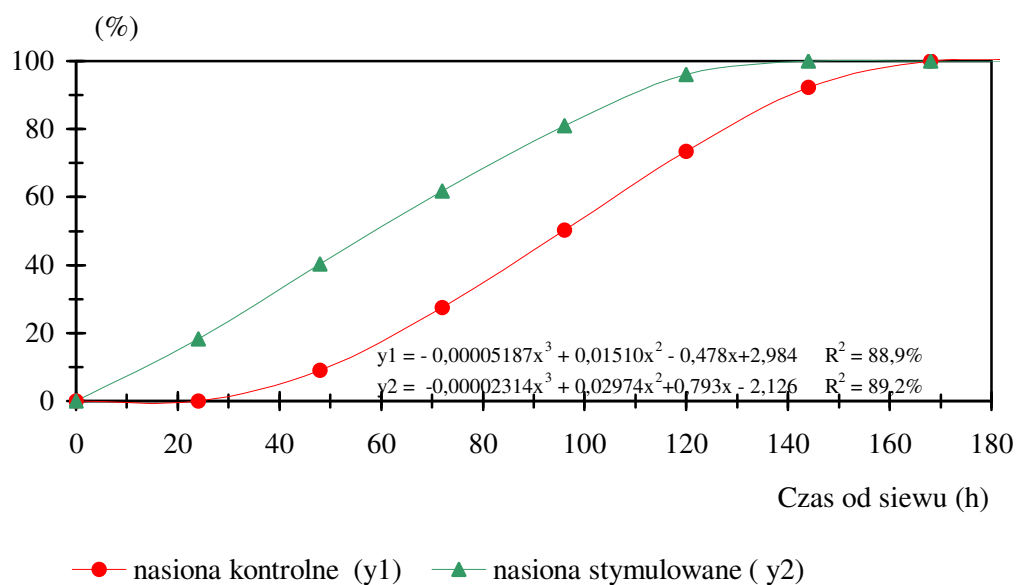
Kiełkowanie nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym (%)
(Płytki Petriego)

Wyszczególnienie	Czas od wysiewu (h)						
	0	24	48	72	96	120	144
Odmiany (I):							
Nadwiślański	0a*	23,3a	40,0a	57,3a	81,7a	90,0a	100,0a
Tim	0a	14,0b	30,0b	54,0a	71,7b	93,3a	100,0a
Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II):							
D0	0a	3,0a	15,0a	23,0a	42,5a	75,0a	100,0a
D1	0a	18,0b	32,5b	63,5b	87,5b	100,0b	100,0a
D2	0a	35,0c	57,5c	80,5c	100,0c	100,0b	100,0a

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

odmian bobiku. Nasiona poddane działaniu pola magnetycznego po wysiewie szybciej i równomierniej kiełkowały w stosunku do nasion kontrolnych, przy czym dawka wyższa pola magnetycznego dawała w okresie od 24 do 96 godzin po wysiewie lepsze efekty niż dawka niższa. Nasiona kontrolne oraz poddane działaniu pola magnetycznego o indukcji 30 i 85 mT zakończyły proces kiełkowania odpowiednio po 144, 120 i 96 godzinach od wysiewu. Przebieg dynamiki kiełkowania nasion dla dawki D1 i D2 był bardzo podobny dlatego przedstawiono ją w postaci krzywych regresji wspólnych dla obydwu dawek (rys. 11).

Traktowanie nasion polem magnetycznym wpływało na początkowy wzrost i rozwój roślin, co zaobserwowano w przyroście masy oraz długości korzeni i łodyg młodych siewek bobiku (rys. 12 i 13). Obydwie dawki pola magnetycznego istotnie wpływały na zwiększenie długości i masy korzeni badanych odmian bobiku (fot. 2), przy czym lepsze efekty uzyskano traktując nasiona dawką wyższą. Po sześciu dniach od wysiewu obie dawki pola magnetycznego powodowały przyrost długości i masy korzeni bobiku odmiany Nadwiślański w stosunku do siewek wyrosłych z nasion nie poddanych działaniu pola odpowiednio o: 21,5; 26,1% - dla odmiany Tim wartości te kształtowały się odpowiednio: 18,6 i 27,3%. Korzenie siewek odmiany Nadwiślański były dłuższe i wytwarzały większą masę niż korzenie odmiany Tim.



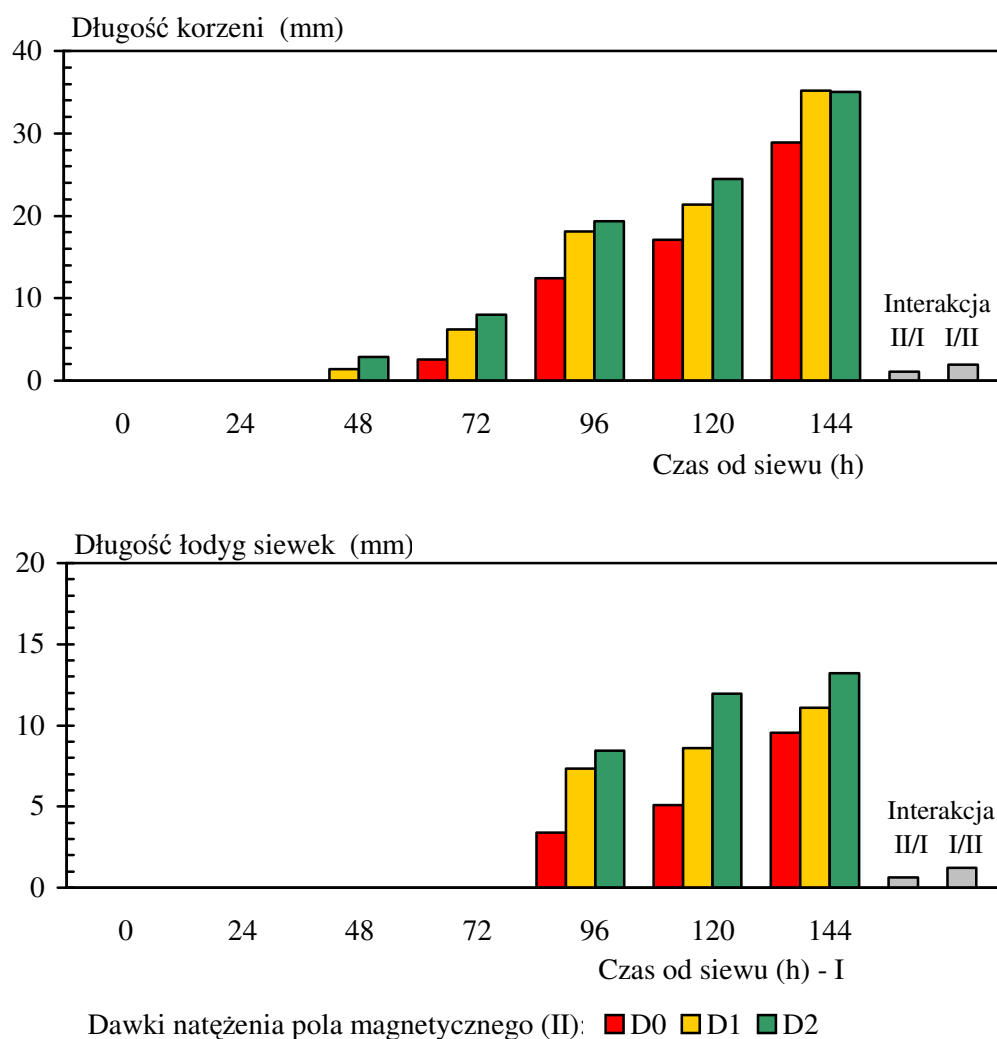
Rys. 11. Wpływ pola magnetycznego na dynamikę kiełkowania nasion na płytkach Petriego



K- kontrola, B – nasiona stymulowane

Fot. 2. Wpływ pola magnetycznego na długość hypocotyli i łodygi siewek bobiku

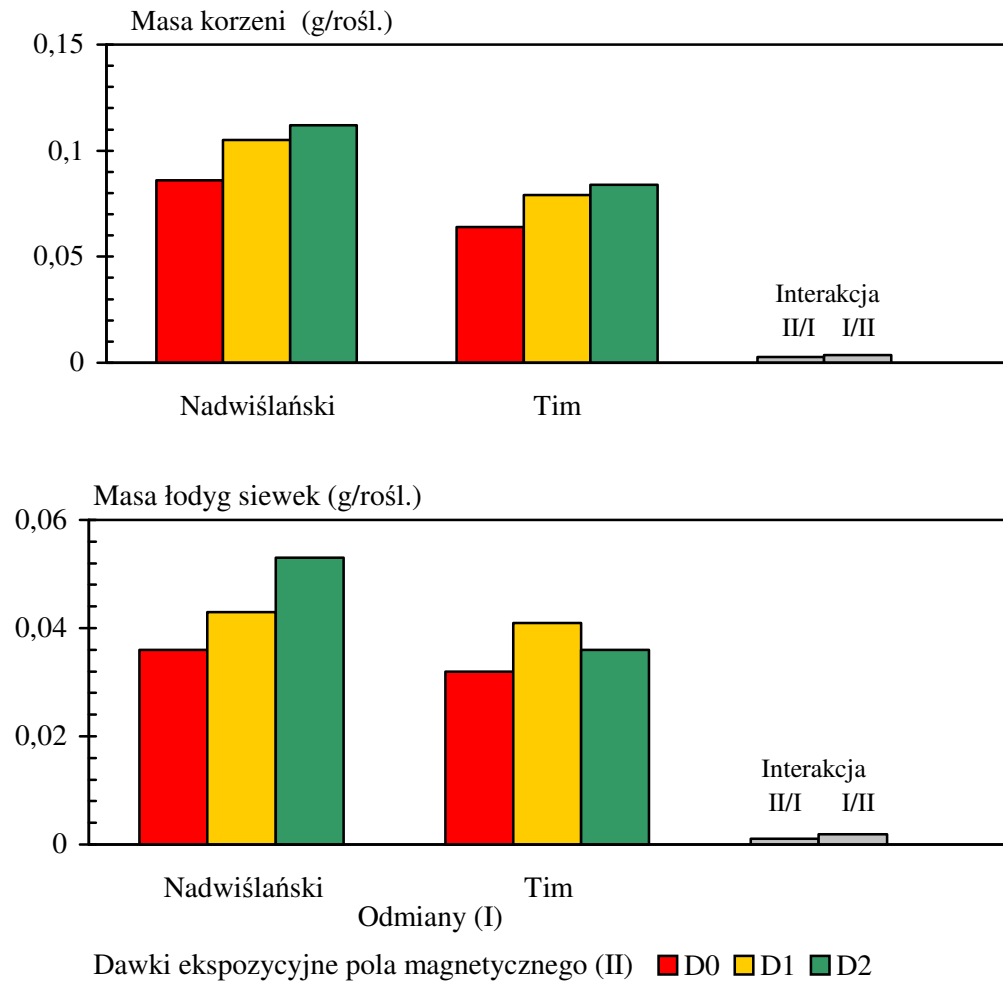
Podobnie jak zmieniała się długość i masa korzeni, również zmianie ulegała w zależności od zastosowanej dawki pola magnetycznego długość i masa łodyg. Magnetostymulacja nasion wpływała na przyspieszenie wzrostu hypocotyli młodych siewek bobiku. Zarówno w odmianie Nadwiślański jak i Tim wzrost hypocotyli młodych siewek uwidocznił się już po 96 godzinach, natomiast u roślin wyrosłych z nasion nie traktowanych polem magnetycznym po 144 godzinach od wysiewu. Średnio obie dawki pola magnetycznego zwiększały długość hypocotyli siewek bobiku odmiany Nadwiślański



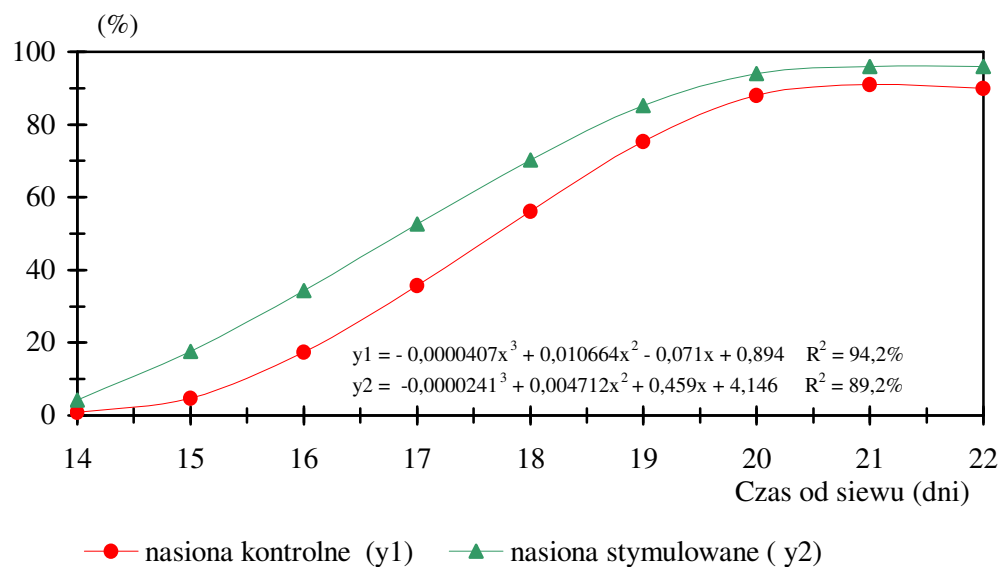
Rys. 12. Długość korzeni i łodyg siewek bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych przedśiewnie polem magnetycznym

o 29,2%, co w przeliczeniu na masę łodyg daje wzrost o 33,3%. Analogicznie u odmiany Tim wzrost długości łodyg siewek wynosił 25,4% przy wzroście masy hypokotyli o 20,3%. Siewki bobiku odmiany Nadwiślański charakteryzowała większa masa i długość łodyg niż siewki odmiany Tim.

Zabieg przedśiewnej stymulacji nasion polem magnetycznym oddziaływał korzystnie na wschody roślin (rys. 14). Były one szybsze i bardziej równomierne w porównaniu z nasionami nie poddanymi działaniu pola magnetycznego. Rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych w warunkach hali wegetacyjnej wschodziły po 13 dniach od wysiewu, natomiast rośliny wyrosłe z nasion nie poddanych działaniu pola magnetycznego wschodziły z 1-2 dniowym opóźnieniem.



Rys. 13. Masa korzonków i hypokotyli bobiku po 144 godzinach od wysiewu



Rys. 14. Dynamika wschodów roślin bobiku w doświadczeniach wazonowych

Zaobserwowane różnice w dynamice wschodów roślin, określone stosunkiem liczby wschodzących roślin do liczby wysianych nasion, dotyczyły zarówno badanych odmian jak i roślin wschodzących z nasion poddanych i nie poddanych działaniu pola magnetycznego (tab. 4). Wschody roślin odmiany Nadwiślański były szybsze i bardziej równomierne. Rośliny charakteryzowały się większą i bardziej masywną budową morfologiczną w stosunku do roślin odmiany Tim. Istotne różnice w dynamice wschodów u obydwu odmian zaobserwowano w ciągu pierwszych pięciu dni wzrostu roślin.

Tabela 4

Wschody roślin bobiku w doświadczeniach wazonowych (%)

Wyszczególnienie	Czas od wysiewu (dni)						
	14	15	16	17	18	19	20
Odmiany (I):							
Nadwiślański	4,0a*	12,3a	30,0a	52,4a	71,5a	91,2a	96,6a
Tim	2,2b	11,0b	34,5a	44,0b	61,8b	89,3a	90,1a
Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II):							
D0	0,0a	7,0a	17,2a	33,6a	55,6a	77,4a	92,2a
D1	3,0b	14,6b	31,7b	53,2b	68,0b	92,2b	96,5a
D2	3,2b	15,2b	37,5c	50,8b	62,5b	92,4b	95,4a

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Poddanie nasion działaniu pola magnetycznego istotnie zwiększało dynamikę wschodów roślin, w szczególności w pierwszych trzech dniach wschodów. W następnych dniach przyrosty liczby roślin wschodzących z nasion stymulowanych polem magnetycznym w stosunku do liczby roślin na obiektach kontrolnych był mniejszy i wyniósł w 4, 5, 6 i 7 dniu wschodów odpowiednio: 54,0; 17,4; 19,3 i 4,1%.

Podobnie jak w warunkach doświadczeń wazonowych, przewidziane traktowanie nasion polem magnetycznym modyfikowało wschody bobiku w warunkach pola doświadczalnego. Początek wschodów oraz liczba wschodzących roślin uzależniona była w dużym stopniu od układu warunków pogodowych w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia. Okresowe niedobory opadów oraz stosunkowo niskie temperatury dobowe powietrza spowodowały, że ukazywanie się pierwszych roślin odnotowano dopiero po 20 dniach od wysiewu. (tab. 5). Stymulacja nasion polem magnetycznym miała wyraźny wpływ na przebieg wschodów bobiku w doświadczeniach polowych, choć był on znacznie mniejszy niż w doświadczeniach wazonowych prowadzonych w hali wegetacyjnej. Szczególnie wyraźne różnice w liczbie roślin wyrosłych z nasion stymulowanych w stosunku do roślin wyrosłych z

nasion nie poddanych działaniu pola magnetycznego odnotowano w początkowym okresie wschodów. W każdym roku badań odmiana tradycyjna bobiku charakteryzowała się nieco szybszym tempem wschodów w stosunku do odmiany samokończącej.

Tabela 5

Wschody roślin bobiku w doświadczeniach polowych (%)

Wyszczególnienie	Czas od wysiewu (dni)						
	20	21	22	23	24	25	26
Odmiany (I):							
Nadwiślański	2,5a*	9,5a	17,6a	44,7a	77,4a	94,2a	94,7a
Tim	2,0a	7,4b	14,5b	44,0a	71,5b	89,8a	91,2a
Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II):							
D0	1,6a	7,2a	14,4a	36,2a	70,1a	91,6a	92,5a
D1	2,6b	9,0b	17,8b	48,4b	76,2b	92,1a	93,5a
D2	2,5b	9,4b	17,2b	48,5b	77,1b	93,0a	93,0a

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

4.3. WZROST I ROZWÓJ ROŚLIN

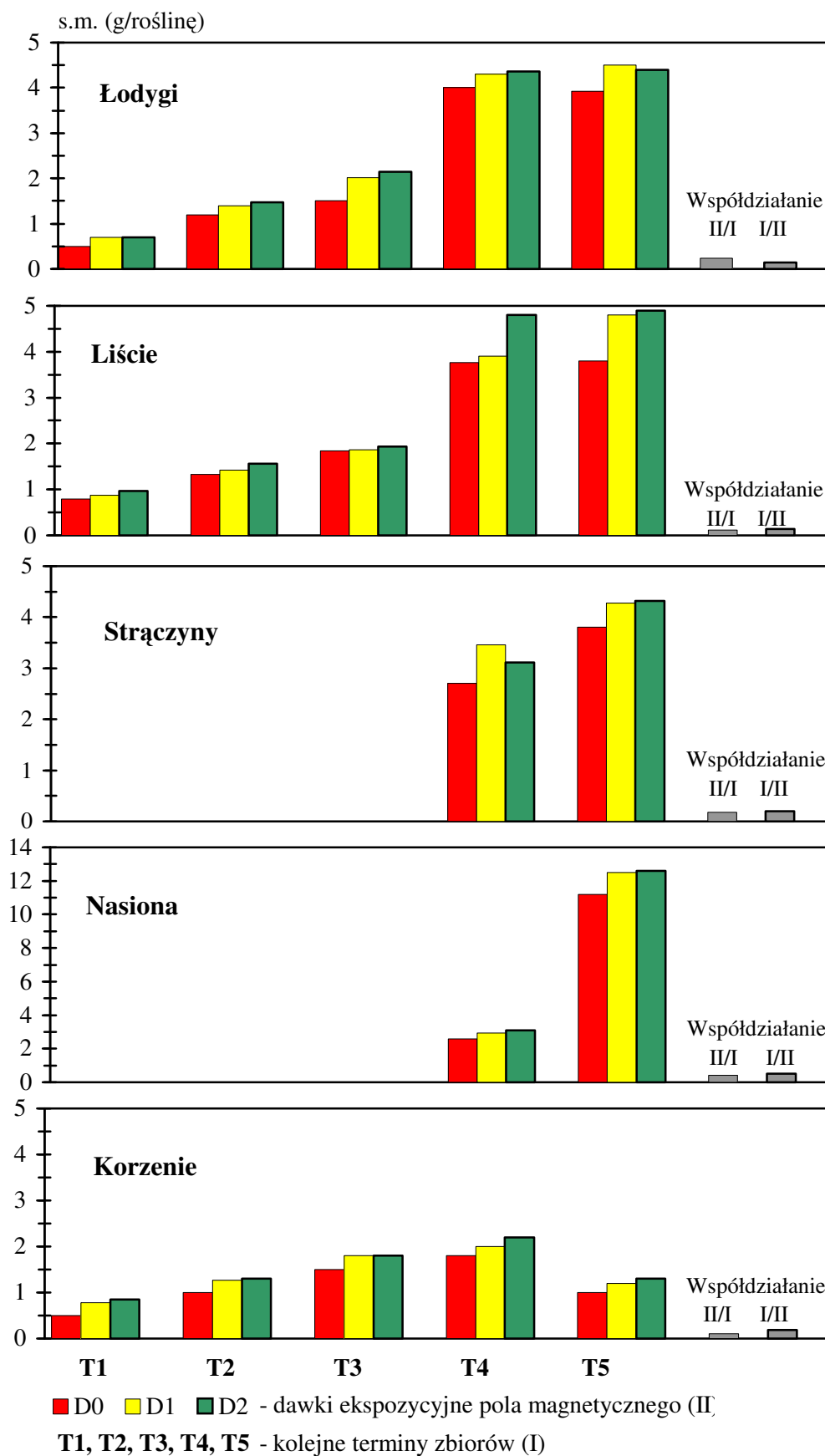
Przedsewna stymulacja nasion bobiku polem magnetycznym wpływała także na późniejszy wzrost i rozwój roślin. Rośliny wyrosłe z nasion traktowanych przedsewnie polem magnetycznym były wyższe od wyrosłych z nasion kontrolnych (fot. 3) oraz charakteryzowało je szybsze tempo gromadzenia suchej masy przez poszczególne organy roślin (rys. 15 i 16). Różnice w plonie suchej masy widoczne były w ciągu całego okresu



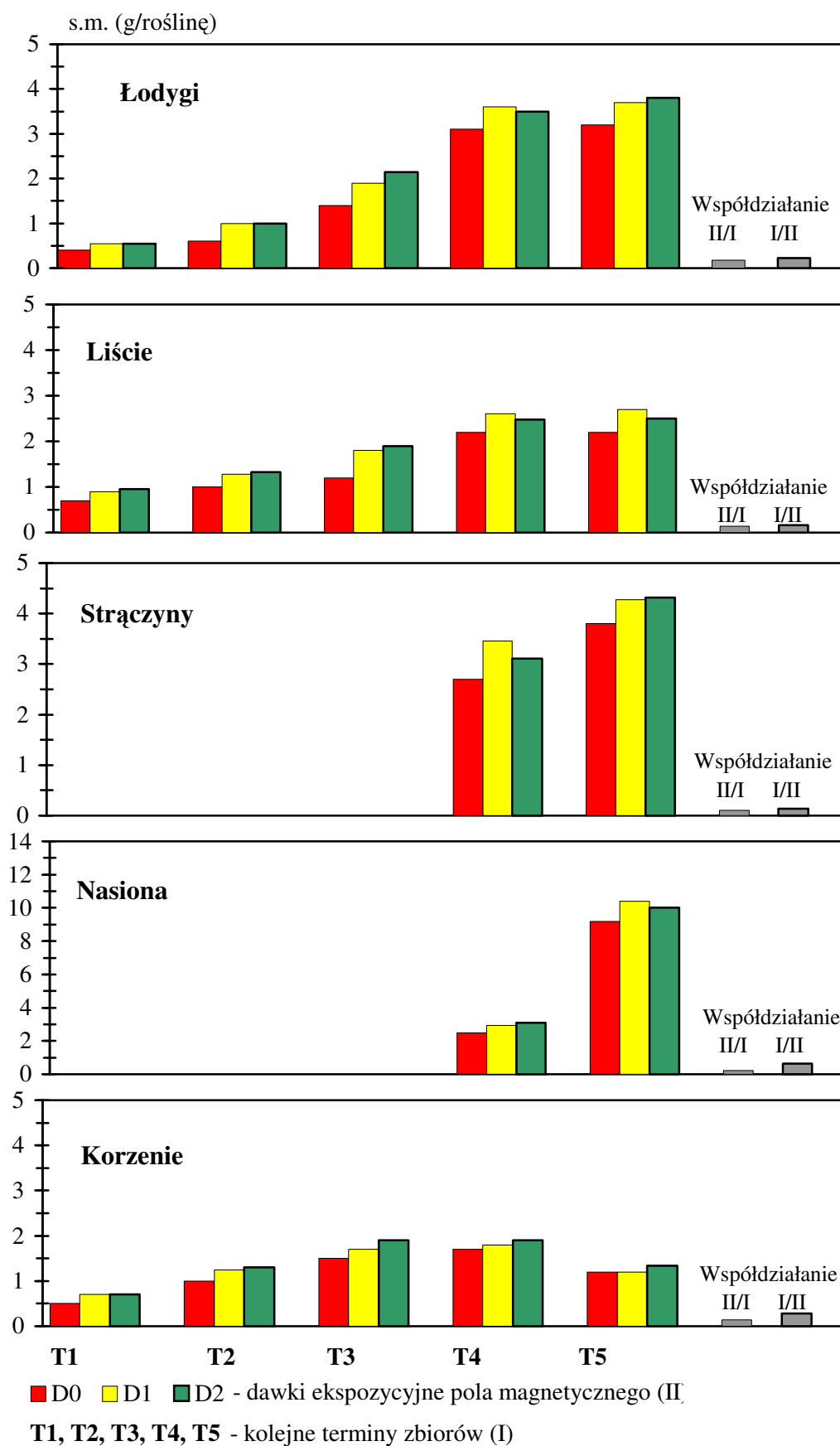
K – kontrola, B – nasiona stymulowane

Fot. 3. Rośliny bobiku w początkowym okresie wzrostu

rozwojowego roślin. Największą dynamiką przyrostu suchej masy części wegetatywnych, głównie łodyg i liści odznaczały się rośliny w okresie pomiędzy zbiorem T_3 i T_4 , czyli w okresie od kwitnienia do zawiązywania strąków. W dalszych etapach rozwoju przyrost suchej masy tych organów był już niewielki. W okresie zawiązywania strąków i wypełniania nasion (T_4) przyrost plonu suchej masy łodyg i liści z nasion przedświecznie stymulowanych dawką o indukcji pola 30 mT średnio dla obydwu odmian wyniósł odpowiednio: 11,8 i 10,9%, a przy dawce pola o indukcji 85 mT plon suchej masy wzrastał w tych organach odpowiednio o: 10,9 i 20,0%. Rośliny wyrosłe z nasion przedświecznie stymulowanych w okresie rozwoju wegetatywnego: T_1 , T_2 i T_3 , także charakteryzowały się największymi przyrostami plonu suchej masy łodyg i liści w stosunku do roślin z grupy kontrolnej. Średnio dla obydwu odmian przyrost plonu suchej masy łodyg w okresie T_1 , T_2 i T_3 wyniósł: 38,7; 43,1 i 41,5 % , a liści odpowiednio: 23,8, 20,0 i 23,5 %. Podobny wpływ zaobserwowano w odniesieniu do korzeni roślin wyrosłych z nasion poddanych działaniu pola magnetycznego. Obydwie dawki pola magnetycznego zastosowane do stymulacji nasion dawały podobne efekty. Średnio dla obydwu odmian plon suchej masy wzrastał w czasie zbiorów T_2 , T_3 i T_4 o: 51,5; 27,8 i 20,0%. W okresie dojrzewania masa korzeni obydwu odmian bobiku zmniejszała się, osiągając w ostatnim terminie zbioru (T_5) wartość 1,43 g/roślinę, co stanowiło około 80% plonu korzeni w okresie zawiązywania strąków i wypełniania nasion. W okresie rozwoju wegetatywnego: T_1 , T_2 i T_3 przyrost plonu suchej masy korzeni u roślin wyrosłych z nasion poddanych działaniu pola magnetycznego był istotnie wyższy w stosunku do roślin wyrosłych z materiału siewnego nie poddanego magnetostymulacji. W okresie generatywnego rozwoju roślin największy wpływ stymulacji nasion na tempo gromadzenia suchej masy i plonowanie roślin z nich wyrosłych stwierdzono w okresie zawiązywania strąków i wypełniania nasion (T_4) oraz dojrzewania roślin (T_5). Plon suchej masy strączyń i nasion zwiększał się w miarę wzrostu i rozwoju roślin, aż do ostatniego zbioru (T_5). Rośliny wyrosłe z nasion przedświecznie stymulowanych bez względu na wielkość dawki wydały wyższy plon suchej masy organów generatywnych niż rośliny z nasion kontrolnych. Wzrost plonu strączyń u roślin wyrosłych z nasion poddanych działaniu pola magnetycznego w stosunku do kontroli wyniósł dla odmiany Nadwiślański 13,2 %, a dla odmiany Tim 12,2 %.

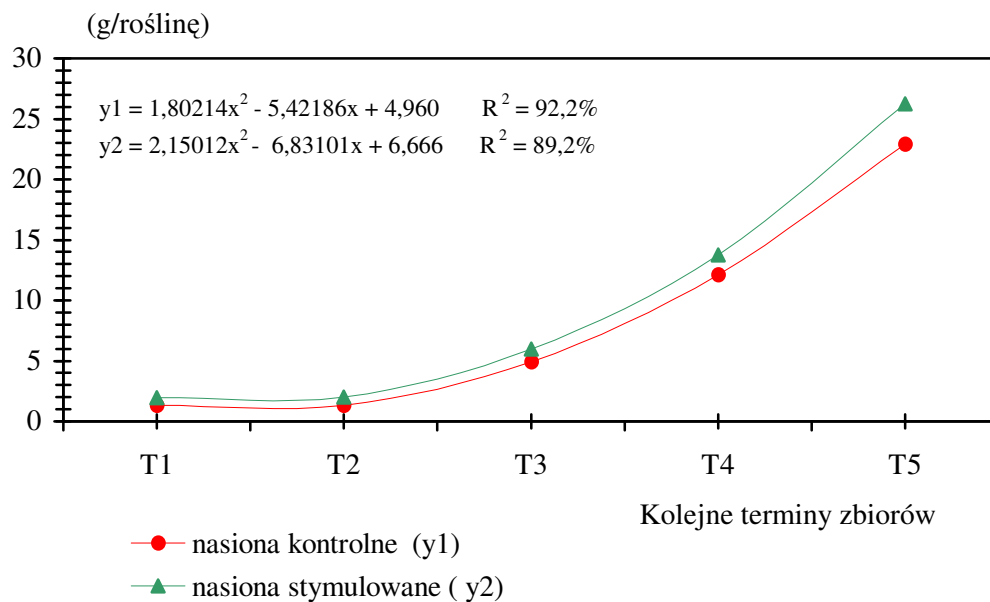


Rys. 15. Plon suchej masy organów bobiku odmiany Nadwiślański

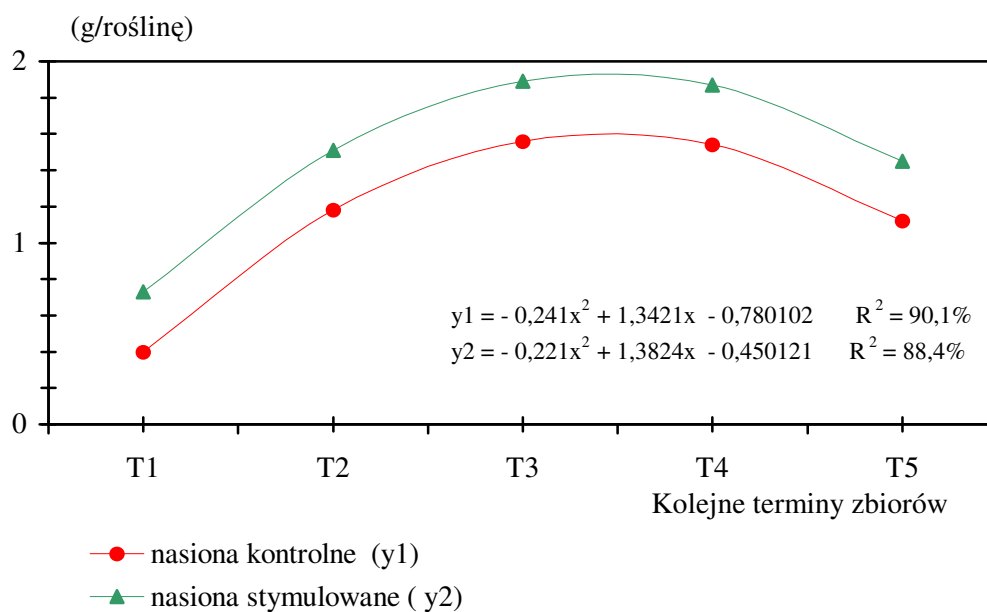


Rys. 16. Plon suchej masy organów bobiku odmiany Tim

Dynamika przyrostu plonu części nadziemnej i korzeni roślin obydwu badanych odmian bobiku miała podobny przebieg dlatego przedstawiono ją wspólnie dla odmiany Nadwiślański i Tim w postaci krzywych regresji na rysunku 17 i 18.



Rys. 17. Dynamika gromadzenia suchej masy przez część nadziemną roślin bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym

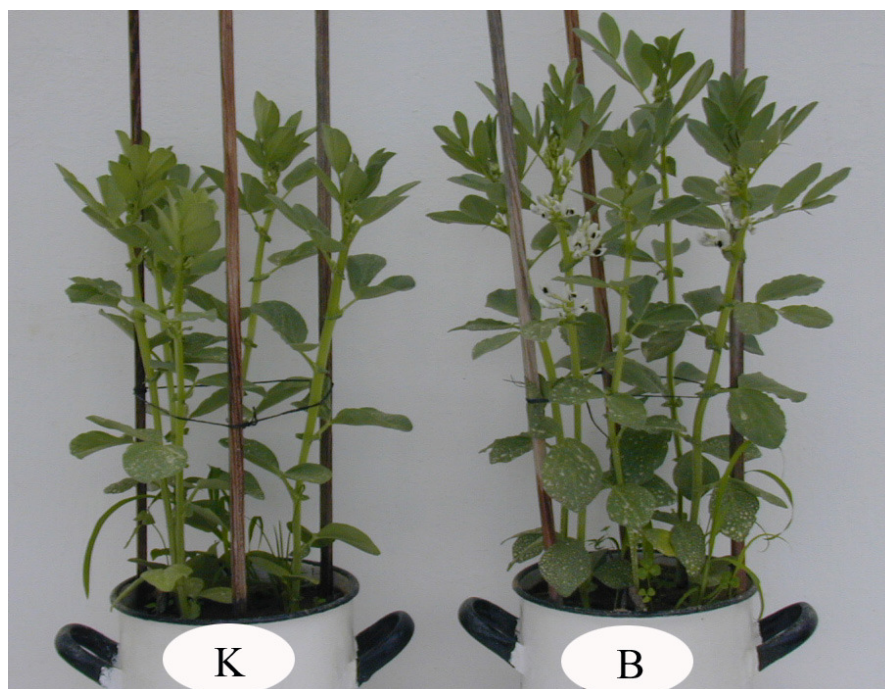


Rys. 18. Dynamika gromadzenia suchej masy korzeni roślin bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym

Obydwie badane odmiany bobiku wykazywały najwyższe przyrosty plonu suchej masy w początkowym okresie rozwoju. W późniejszych fazach rozwojowych roślin przyrosty plonu suchej masy były już znacznie mniejsze. Największy przyrost organów wegetatywnych

bobiku wystąpił w okresie od wschodów do fazy T_4 , czyli zawiązywania strąków i wypełniania nasion, a przyrost masy korzeni od wschodów do zbioru T_3 czyli kwitnienia. W późniejszym okresie wzrostu i rozwoju dynamika gromadzenia suchej masy przez część nadziemną roślin bobiku była już niewielka, a korzeni uległa nawet zmniejszeniu. W szybkim tempie przyrastała natomiast masa organów generatywnych.

Rośliny wyrosłe z nasion traktowanych przedsięwnie polem magnetycznym wcześniej zakwitały (fot.4) i szybciej dojrzewały (fot.5), co modyfikowało zawartość suchej masy w organach roślinnych bobiku (rys. 19). Rośliny odmiany Nadwiślański i Tim wyrosłe z nasion



K – kontrola, B – nasiona stymulowane

Fot. 4. Rośliny bobiku w fazie pąkowania i początku kwitnienia

poddanych działaniu pola magnetycznego w początkowym okresie rozwoju miały zbliżoną zawartość suchej masy do roślin z grupy kontrolnej, natomiast po okresie kwitnienia u roślin wyrosłych z nasion stymulowanych polem magnetycznym zawartość suchej masy ulegała zmniejszeniu, ze względu na wcześniejsze ich zasychanie.

Traktowanie nasion bobiku polem magnetycznym o indukcji 30 mT zwiększało plon suchej masy nasion odmiany Nadwiślański i Tim odpowiednio o: 11,6 i 13,0 %, a o indukcji 85 mT odpowiednio o: 12,5 i 8,7 %.

Wykonane pomiary biometryczne wykazały, że przedsięwne traktowanie nasion polem magnetycznym wpływało na zmiany cech morfologicznych wyrosłych z nich roślin.

Stwierdzono między innymi przyrost powierzchni liściowej roślin wyrosłych z nasion stymulowanych w stosunku do roślin wyrosłych z nasion kontrolnych. Różnice te utrzymywały się prawie przez cały okres wegetacji (rys. 20). Nie stwierdzono natomiast różnic w liczbie liści na roślinie w odniesieniu do zastosowanych dawek pola magnetycznego.

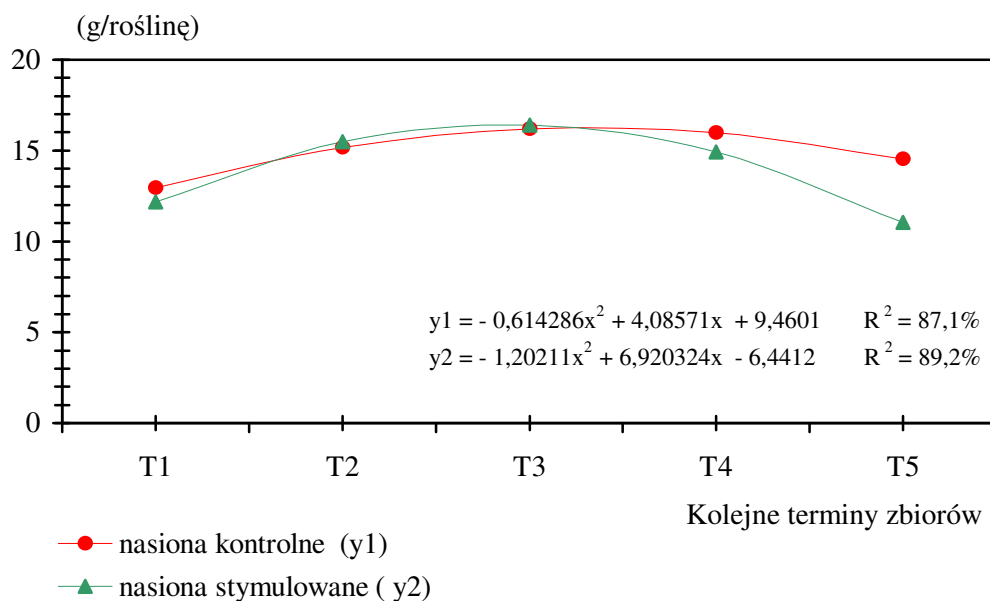


K – kontrola, B – nasiona stymulowane

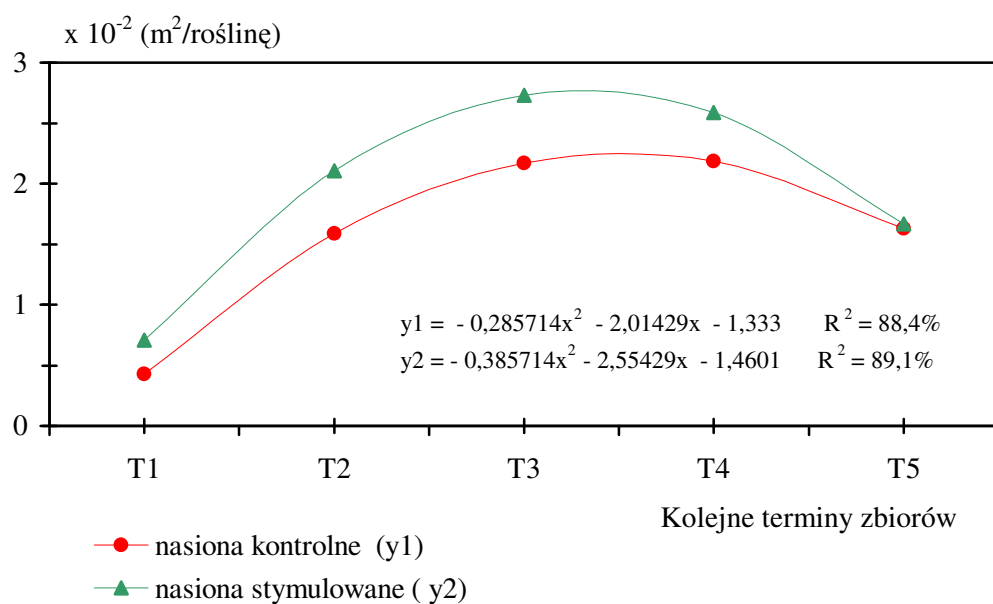
Fot. 5. Dojrzewanie roślin bobiku

Dopiero w okresie dojrzewania rośliny wyrosłe z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym miały zbliżoną wielkość powierzchni liściowej. Nie zaobserwowano różnic w powierzchni liściowej pomiędzy roślinami wyrosłymi z nasion traktowanych dawką 30 i 85 mT, dlatego wykres przedstawiający przebieg opisywanych zmian przedstawiono wspólnie dla obydwu odmian i dawek pola magnetycznego.

Pole magnetyczne różnicowało istotnie wysokość roślin bobiku (tab. 6). Stwierdzono także istotne różnice w wysokości roślin między badanymi odmianami bobiku. Rośliny bobiku odmiany Nadwiślański – typ tradycyjny były wyższe niż odmiany Tim – typ samokończący.



Rys. 19. Zawartość suchej masy w roślinach bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym



Rys. 20. Kształtowanie się powierzchni liściowej roślin bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym.

Magnetostymulacja nasion modyfikowała liczbę strąków na roślinie, liczbę nasion z rośliny i masę 1000 nasion. U roślin wyrosłych z materiału siewnego traktowanego polem magnetycznym przyrost liczby strąków i nasion wynosił w stosunku do obiektu kontrolnego odpowiednio 12,5 i 27,7%. W znacznie mniejszym stopniu zmieniała się masa 1000 nasion, bowiem jej przyrost na skutek zastosowanego zabiegu stymulacji magnetycznej był różny w latach i wyniósł średnio 5,8%. Nieznacznie zwiększyła się również średnia długość jednego strąka, lecz różnica ta nie została udowodniona statystycznie. Rośliny bobiku odmiany

Nadwiślański charakteryzowała większa średnia długość strąka, większa liczba nasion z rośliny i masa 1000 nasion niż rośliny odmiany Tim. Natomiast odmiana Tim wytworzyła większą ilość strąków na roślinie.

Dynamika przyrostu masy określana na podstawie bezwzględnej (GR) i względnej (RGR) szybkości wzrostu wykazała zróżnicowany przyrost masy roślin w zależności od fazy rozwojowej i zastosowanej stymulacji nasion (tab.7 i 8). Bezwzględna szybkość wzrostu (GR) części nadziemnej zwiększała się w miarę rozwoju roślin, osiągając najwyższą wartość

Tabela 6

Wartości niektórych cech morfologicznych i użytkowych przed zbiorem roślin bobiku

Wyszczególnienie	Wysokość roślin (m)	Liczba liści na roślinie	Średnia długość strąka (mm)	Liczba strąków na roślinie	Liczba nasion z rośliny	Masa 1000 nasion (g)
Odmiany (I): Nadwiślański Tim	0,79a* 0,68b	14a 12a	71,5a 68,4b	6,6a 7,6b	20,6a 19,3b	616a 514b
Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II): D0 D1 D2	0,67a 0,76b 0,74b	14a 13a 15a	69,4a 72,4a 70,7a	6,4a 7,2b 7,2b	16,8a 21,8b 21,1b	556a 586b 590b

*) Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

w okresie od kwitnienia do zawiązywania strąków i wypełniania nasion. Po tym okresie dobowe przyrosty masy części nadziemnych były już znacznie mniejsze. Względna szybkość wzrostu (RGR) osiągnęła największą wartość w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków. Rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych osiągnęły największy wskaźnik RGR w okresie kwitnienia, a rośliny wyrosłe z nasion kontrolnych w okresie zawiązywania strąków. Podobnej zmianie ulegała bezwzględna szybkość wzrostu całych roślin, która zwiększała się w miarę rozwoju roślin, osiągając najwyższe wartości w okresie zawiązywania strąków i wypełniania nasion. W dalszych etapach wzrostu i rozwoju bezwzględna szybkość wzrostu (GR) całych roślin zmniejszała się w szybszym tempie niż tylko samych części nadziemnych. Względna szybkość wzrostu całej rośliny osiągnęła największą wartość w okresie intensywnego wzrostu, czyli od fazy 4-5 liści do kwitnienia. Rośliny wyrosłe z nasion poddanych działaniu pola magnetycznego wykazywały wyższe wartości wskaźników wzrostu roślin (GR i RGR) co wskazuje na większą dynamikę przyrostu masy tych roślin w stosunku do roślin wyrosłych z nasion kontrolnych.

Tabela 7

Bezwzględna (GR) i względna szybkość wzrostu (RGR) roślin bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym (część nadziemna)

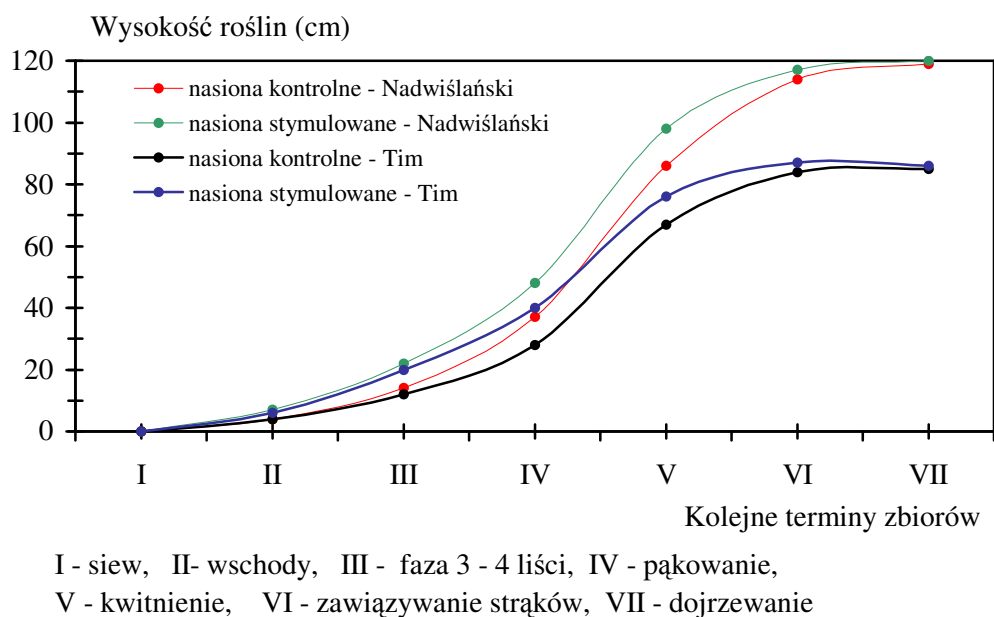
Zbiory	GR (g/dobę)			RGR (g/g/dobę)		
	D0	D1	D2	D0	D1	D2
T1 – T2	0,422	0,452	0,476	0,276	0,228	0,228
T2 – T3	1,293	1,779	1,971	0,519	0,568	0,593
T3 – T4	3,809	4,141	4,252	0,597	0,546	0,533
T4 – T5	2,927	3,390	3,173	0,186	0,189	0,174

Tabela 8

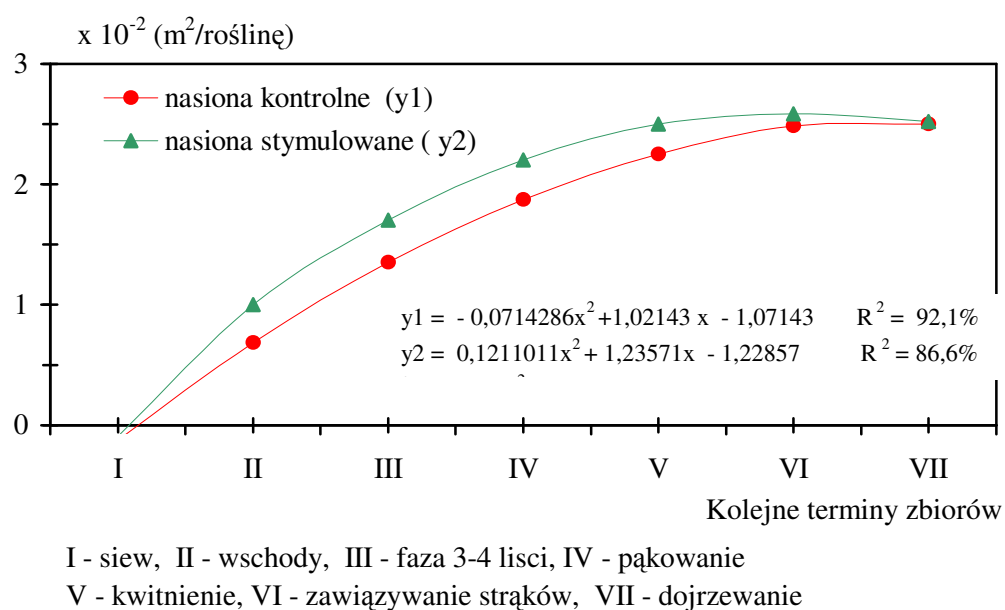
Bezwzględna (GR) i względna szybkość wzrostu (RGR) roślin bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym (cała roślina)

Zbiory	GR (g/dobę)			RGR (g/g/dobę)		
	D0	D1	D2	D0	D1	D2
T1 – T2	0,639	0,676	0,704	0,248	0,228	0,227
T2 – T3	2,007	2,486	2,757	0,539	0,538	0,565
T3 – T4	3,917	4,207	4,339	0,480	0,439	0,430
T4 – T5	2,710	3,157	2,930	0,157	0,161	0,147

Podobnie jak w warunkach doświadczeń wazonowych, przewidziane traktowanie nasion polem magnetycznym modyfikowało wzrost i rozwój roślin bobiku w warunkach pola doświadczalnego. Wielkość uzyskanych efektów była mniejsza od uzyskanych w warunkach hali wegetacyjnej i uzależniona w dużym stopniu od układu warunków pogodowych w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia. Zaobserwowano również różnice we wzroście roślin wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym (rys. 21). Rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych wykazywały większą dynamikę wzrostu w stosunku do roślin wyrosłych z nasion kontrolnych. Największe różnice widoczne były w okresie od fazy 3 – 4 liści do fazy zawiązywania strąków. W całym okresie badawczym odmianę Nadwiślański charakteryzowała większa wysokość roślin niż odmianę Tim, przy czym u obydwu odmian stwierdzono przyrost wysokości roślin na obiektach, w których materiał siewny był traktowany polem magnetycznym. Również w warunkach pola doświadczalnego, przewidziana stymulacja nasion różnicowała powierzchnię liściową wyrosłych z nich roślin. Przyrost powierzchni liściowej w kolejnych terminach zbioru obydwu badanych odmian bobiku miał bardzo podobny przebieg, dlatego przedstawiono go w postaci krzywych regresji na rysunku 22 wspólnie dla obydwu odmian. Prawie przez cały okres wegetacji bobiku rośliny wyrosłe z nasion poddanych działaniu pola magnetycznego



Rys. 21. Wysokość roślin w okresie od wschodów do zbioru (doświadczenie polowe)



Rys. 22. Zmiana powierzchni liściowej roślin bobiku wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym (doświadczenie polowe)

miały większą powierzchnię liściową w stosunku do roślin wyrosłych z nasion nie traktowanych polem magnetycznym. Największy przyrost powierzchni liściowej roślin stwierdzono: w fazie 3-4 liści, w okresie pąkowania i kwitnienia bobiku. Różnice w powierzchni liściowej między roślinami wyrosłymi z nasion traktowanych polem magnetycznym i roślinami kontrolnymi w wymienionych okresach wzrostu i rozwoju

wynosiły odpowiednio: 0,35; 0,33 i $0,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{roślinę}$. W dalszych etapach rozwoju roślin różnice te były znacznie mniejsze, a w okresie dojrzewania prawie zanikały.

4.4. PLONOWANIE ROŚLIN

Konkurencja roślin o światło, wodę i składniki pokarmowe, porażenie przez choroby i szkodniki oraz okresowe niedobory wody w glebie w czasie wegetacji bobiku powodowały wypadanie roślin i zmniejszenie ich obsady na poletkach (tab.9). Średnio w ciągu trzech lat badań w okresie wegetacji bobiku ubytki roślin odmiany Nadwiślański o genotypie tradycyjnym wyniosły 8,5 %, a odmiany Tim o genotypie samokończącym 6,1 %. Najbardziej niekorzystny okazał się rok 2003, w którym dość wysokie temperatury powietrza przy znikomych opadach deszczu powodowały zahamowanie rozwoju i zamieranie młodych roślin bobiku. Traktowanie nasion polem magnetycznym ograniczało wypadanie roślin z ładu.

Tabela 9

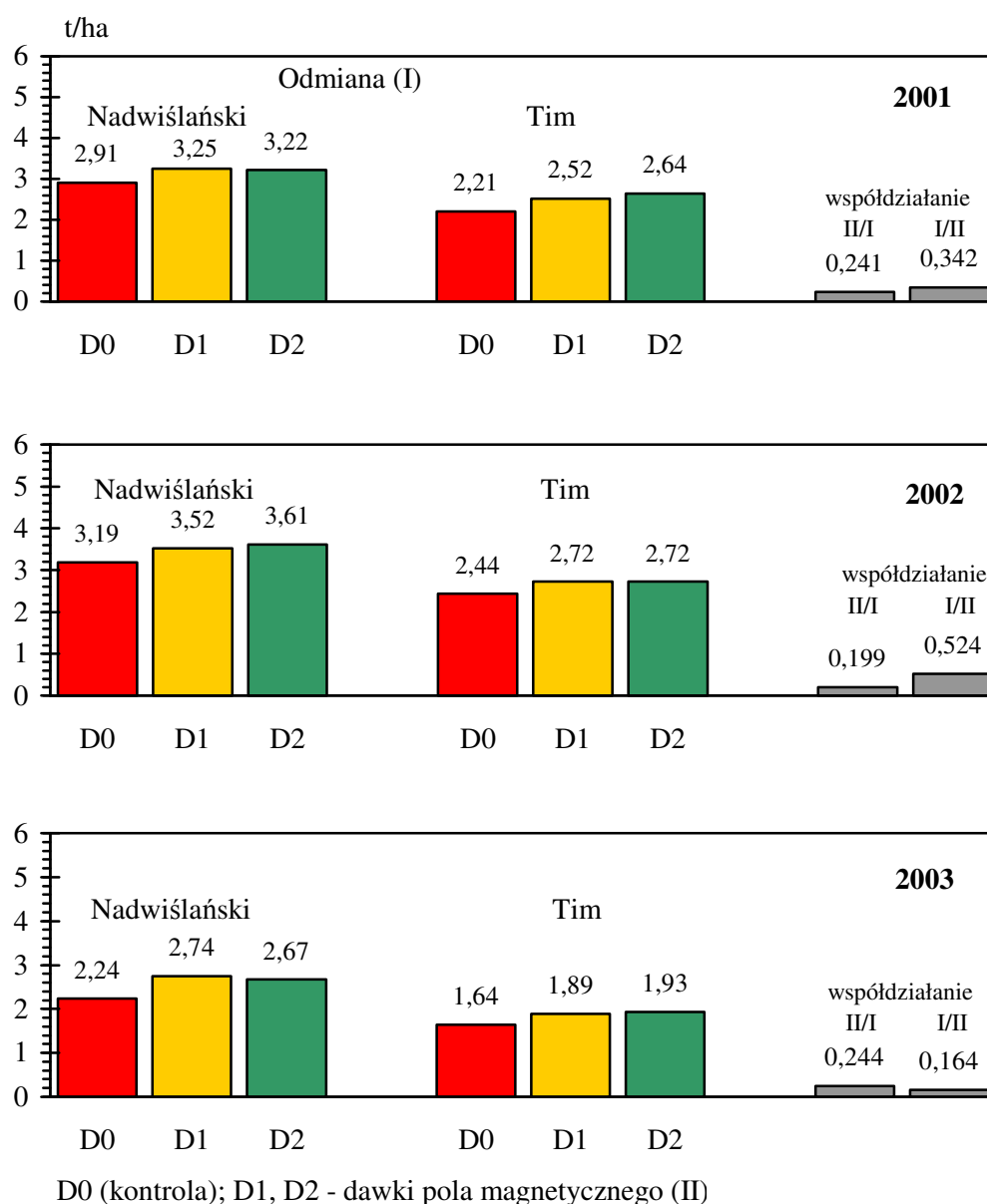
Ubytki roślin w okresie wegetacji (%)

Wyszczególnienie	Lata badań		
	2001	2002	2003
Odmiany (I):			
Nadwiślański	4,5a*	8,7a	12,4a
Tim	2,8b	7,4a	8,2b
Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II):			
D0	4,5a	11,5a	14,9a
D1	2,9b	6,3b	8,3b
D2	3,2b	6,5b	8,0b

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Obydwie dawki ekspozycyjne pola magnetycznego podobnie ograniczały ubytki roślin w czasie wegetacji bobiku. Średnio z 3 lat badań na obiektach kontrolnych zanotowano bowiem 10,3%, a na obiektach z stymulowanym materiałem siewnym 5,9 % ubytków roślin z ładu.

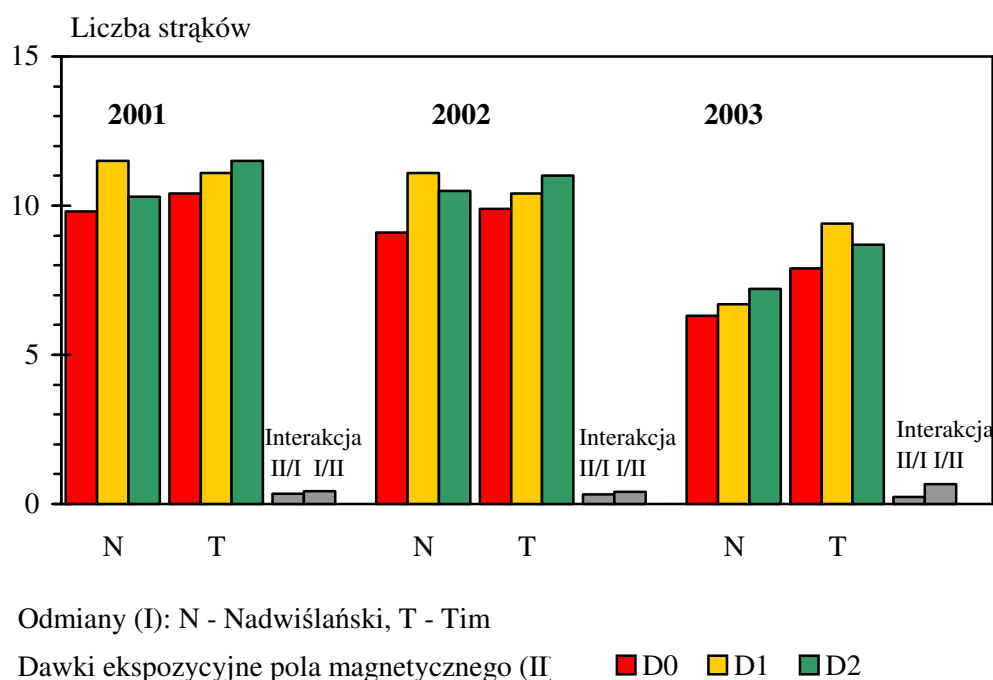
Zróżnicowane warunki pogodowe w poszczególnych latach badań miały wpływ na wielkość uzyskanych plonów. Średni plon nasion bobiku w ciągu trzyletniego okresu prowadzonych doświadczeń wyniósł 3,04 t/ha dla odmiany Nadwiślański i 2,30 t/ha dla odmiany Tim (rys. 23). W roku 2001 i 2002 obydwie odmiany bobiku plonowały na podobnym poziomie, natomiast w roku 2003 wystąpiła długotrwała susza, która spowodowała znaczny spadek plonu nasion bobiku. W każdym roku badań bobik odmiany Nadwiślański plonował lepiej niż odmiany Tim. Przedsiewne traktowanie nasion polem magnetycznym



Rys. 23. Plon nasion bobiku w zależności od odmiany i dawki pola magnetycznego

wpływało korzystnie na poziom uzyskanych plonów. W każdym roku prowadzenia badań wystąpiło współdziałanie dawki pola magnetycznego z odmianami bobiku w odniesieniu do plonu nasion. Obydwie dawki pola magnetycznego (D2 i D3) powodowały podobnąwyżkę plonu nasion badanych odmian bobiku, która wynosiła średnio dla trzech lat badań około 14% w stosunku do obiektu kontrolnego (D1). W każdym roku badań obydwie odmiany bobiku reagowały dodatnio na przedsięwną stymulację nasion polem magnetycznym. Przyrost plonu nasion pod wpływem zastosowanego zabiegu wyniósł w kolejnych latach badań dla odmiany Nadwiślański 11,6; 11,3 i 20,8 %, a dla odmiany Tim odpowiednio: 16,3; 11,1 i 16,5%.

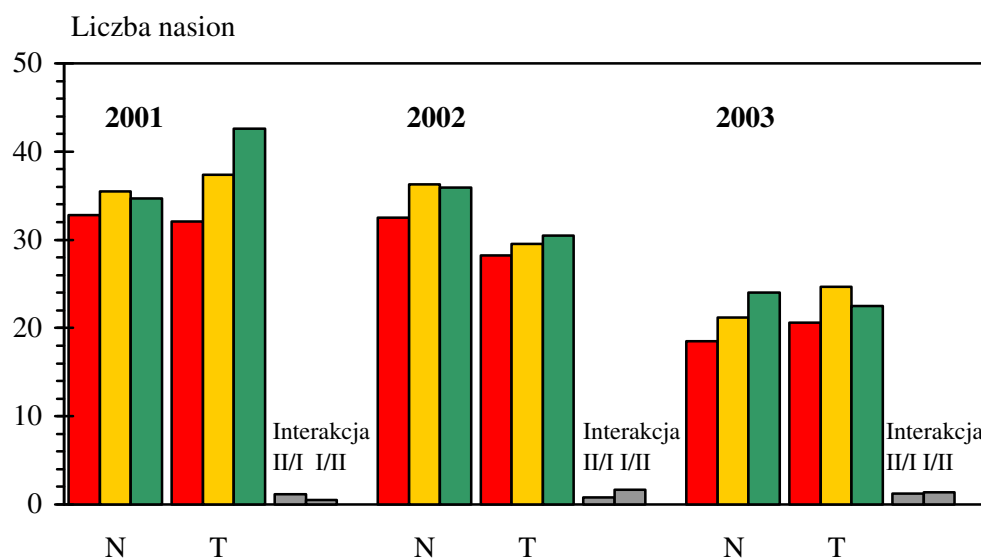
Wyższe plony nasion bobiku uzyskane na obiektach, których materiał siewny był poddany działaniu pola magnetycznego były konsekwencją większej niż na obiektach kontrolnych obsady strąków na roślinie przed zbiorem wynikającej z mniejszych ubytków roślin z łanu, większej liczbie nasion na roślinie oraz mniejszych ubytków roślin z łanu w czasie wegetacji. Wykonane pomiary na 10 losowo pobranych roślinach z poletka bezpośrednio przed zbiorem wykazały, że średnio na roślinie bobiku odmiany Nadwiślański wyrosłej z nasion nie stymulowanych było 8,4 strąków, a na roślinie wyrosłej z nasion stymulowanych 9,6 strąków (rys. 24), natomiast liczba nasion z rośliny kształtowała się odpowiednio: 27,9 i 31,3 nasion (rys. 25). Dla odmiany Tim liczba strąków na roślinie wynosiła odpowiednio: 9,4 i 10,4 strąków, a liczba nasion z rośliny: 27,0 i 31,2 nasion. Obydwie dawki pola magnetycznego zwiększały liczbę strąków i liczbę nasion na roślinie. W latach 2001 i 2002 rośliny wytworzyły podobne ilości strąków i nasion na roślinie, natomiast w roku 2003 liczba ta była nieco niższa co uwidoczniło się w plonowaniu bobiku.



Rys. 24. Liczba strąków na roślinach bobiku wyrosłych z materiału siewnego przedsięwzięcie traktowanego i nie traktowanego polem magnetycznym

Analiza struktury plonu po zbiorze nie wykazała wpływu zabiegu stymulacji nasion polem magnetycznym na liczbę nasion w strąku i masę 1000 nasion (tab. 10). Widoczne były jedynie niewielkie zmiany lub tendencje do zmian wartości tych cech struktury na skutek oddziaływania pola magnetycznego na materiał siewny bobiku. Istotne różnice w odniesieniu

do liczby nasion w strąku i masy 1000 nasion stwierdzono natomiast pomiędzy badanymi odmianami bobiku. Odmiana o genotypie tradycyjnym – Nadwiślański zawiązywała więcej nasion w strąku, a uzyskane nasiona charakteryzowały się większą masą 1000 nasion niż odmiana o genotypie samokończącym – Tim.



Odmiany (I): N - Nadwiślański, T - Tim

Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II): ■ D0 ■ D1 ■ D2

Rys. 25. Liczba nasion na roślinach bobiku wyrosłych z materiału siewnego przedsięwzięcie traktowanego i nie traktowanego polem magnetycznym

Tabela 10

Wartości niektórych cech morfologicznych i użytkowych przed zbiorem roślin bobiku (doświadczenie polowe)

Wyszczególnienie	2001		2002		2003	
	Liczba nasion w strąku	Masa 1000 nasion (g)	Liczba nasion w strąku	Masa 1000 nasion (g)	Liczba nasion w strąku	Masa 1000 nasion (g)
Odmiany (I):						
Nadwiślański	3,37a*	444,5a	3,42a	532,9a	3,16a	486,7a
Tim	3,40a	398,6b	2,93b	526,7b	2,60b	381,2b
Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II):						
D0	3,21a	456,5a	3,25a	527,6a	2,92a	434,7a
D1	3,24a	437,5b	3,08a	533,7b	2,78a	431,1a
D2	3,54b	439,5b	3,21a	528,1a	2,86a	436,0a

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Najczęściej występującymi chorobami bobiku były: askochytoza bobiku i rdza bobu, a wśród szkodników strąkowiec bobowy (tab. 11). Stopień porażenia roślin przez te choroby w poszczególnych latach zależał od przebiegu warunków pogodowych i formy bobiku. Najmniej korzystne warunki do rozwoju chorób grzybowych, ze względu na długotrwałą suszę i wysokie temperatury powietrza wystąpiły w 2003 roku, stąd porażenie chorobami tego roku było najmniejsze. Średnio w ciągu trzech lat badań odmiana bobiku o genotypie tradycyjnym ulegała w mniejszym stopniu porażeniu chorobami, lecz wykazywała więcej nasion uszkodzonych przez strąkowca bobowego, w stosunku do odmiany o genotypie samokończącym. Stymulacja nasion polem magnetycznym nie miała wpływu na porażenie roślin przez choroby i szkodniki.

Tabela 11

Procent roślin porażonych przez choroby i nasion uszkodzonych przez szkodniki
w ciągu całego okresu wegetacji

Wyszczególnienie	Askochytoza bobiku	Rdza bobu	Strąkowiec bobowy
Odmiany (I): Nadwiślański Tim	7,6a* 12,5b	10,4a 17,2b	31,4a 23,4b

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

4.5. JAKOŚĆ PLONU

Przeprowadzona analiza laboratoryjna wykazała istotny wzrost zdolności kiełkowania nasion uzyskanych z roślin wyrosłych z materiału siewnego poddanego działaniu pola magnetycznego (tab. 12). Odmiana bobiku Nadwiślański charakteryzowała się wyższą zdolnością kiełkowania i większą wilgotnością uzyskanych nasion niż odmiana Tim. Pomiary wilgotności nasion wykonane bezpośrednio przed zbiorem wykazały mniejszą zawartość wody w nasionach uzyskanych z roślin wyrosłych nasion stymulowanych w porównaniu do obiektu kontrolnego. Stymulacja nasion polem magnetycznym nie różnicowała zawartości białka i tłuszczu w nasionach - wystąpiły jedynie tendencje do przyrostu zawartości tych składników. Istotne różnice w zawartości białka w nasionach stwierdzono natomiast w odniesieniu do badanych genotypów bobiku.

Tabela 12

Wpływ stymulacji magnetycznej na jakość nasion bobiku (średnio z 3 lat)

Wyszczególnienie	Zdolność kiełkowania nasion (%)	Wilgotność nasion podczas zbioru (%)	Zawartość białka (%)	Zawartość tłuszczu (%)
Odmiany (I): Nadwiślański	96,8a*	19,6a	27,6a	1,4a
Tim	92,4b	18,4b	28,4b	1,6a
Dawki ekspozycyjne pola magnetycznego (II):				
D0	92,2a	20,6a	26,8a	1,3a
D1	96,3b	17,4b	27,4a	1,6a
D2	94,5b	16,6b	27,6a	1,7a

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

5. DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ pola magnetycznego na przebieg niektórych procesów fizjologicznych i biochemicznych w nasionach, konsekwencją czego były zmiany w przebiegu kiełkowania oraz późniejszym wzroście i rozwoju roślin bobiku. Nasiona traktowane polem magnetycznym wykazywały wyższą aktywność enzymów amylolitycznych, głównie fosforylaz i hydrolaz skrobiowych, do których zalicza się α i β amylazy. Enzymy te podczas kiełkowania katalizują proces hydrolizy wiązań α -1-4-glikozydowych wewnątrz łańcucha skrobi dzieląc go na dekstryny zawierające kilka reszt glukozy i jednostki maltozy (Grzesiuk i Kulka 1986). Zwiększona aktywność tych enzymów w nasionach traktowanych polem magnetycznym wskazuje na większe zaawansowanie procesu kiełkowania w stosunku do nasion nie poddanych działaniu tego pola. Różnice w aktywności enzymatycznej między nasionami stymulowanymi i kontrolnymi uwidoczniły się po 24 godzinach od wysiewu, czyli wówczas gdy nasiona pochłonęły dostateczną ilość wody. Jednak największe zróżnicowanie tej aktywności stwierdzono po upływie 96 godzin od wysiewu, gdy proces kiełkowania nasion był już bardzo zaawansowany. Wyniki przeprowadzonych prac dowodzą, że pole magnetyczne powoduje zmiany biochemiczne modyfikujące procesy fizjologiczne zachodzące w nasionach i młodych siewkach bobiku. Potwierdzeniem takiego rozumowania są także wyniki badań Pittmana i in. (1971, 1979), wykazujące wpływ pola magnetycznego na zmianę aktywności amylolitycznej nasion jęczmienia i pszenicy, jak również doniesienia Lebiedieva i in. (1975), w których stwierdzono zwiększoną aktywność lipazy, amylazy i katalazy w nasionach soi, słonecznika i pszenicy poddanych działaniu pola magnetycznego. Według Grzesiuka i Kulki (1986) czynniki fizyczne oddziałują wszechstronnie na nasiona roślin uprawnych, ale w największym stopniu stymulują przebieg procesów enzymatycznych. Twierdzenie to ma swoje uzasadnienie w prezentowanej pracy oraz doniesieniach innych autorów. Na przykład z badań Galovej (1996) wynika, że traktowanie nasion pszenicy ozimej światłem laserowym powoduje w nich wzrost zawartości α -amylazy. Także Podleśny (1998, 2002) wykazał, że przedświecanie materiału siewnego bobiku i łubinu białego promieniami laserowymi przyczyniało się istotnie do wzrostu aktywności enzymów amylolitycznych, szczególnie wyraźnie w okresie od 24 do 144 godzin od wysiewu nasion. Natomiast Toth i in. (1993) stwierdzili, że w nasionach kukurydzy naświetlanych promieniowaniem laserowym zachodzi szybka redukcja zawartości cukrów prostych spowodowana wzrostem aktywności enzymów hydrolitycznych.

Zwiększona aktywność enzymatyczna nasion stymulowanych wskazuje na większe zaawansowanie procesu kiełkowania w porównaniu z nasionami nie traktowanymi polem magnetycznym. Dlatego w prezentowanych badaniach traktowane polem magnetycznym nasiona bobiku szybciej pochłaniały wodę i zwiększały swoją masę w okresie pęcznienia niż nasiona kontrolne. Efektem tego było szybsze ich kiełkowanie oraz wcześniejsze i bardziej równomierne wschody roślin. Również z badań Grzesiuka i Rejowskiego (1957) wynika, że nasiona kukurydzy traktowane przedsięwzięciem falami ultradźwiękowymi pobierają znacznie więcej wody niż nasiona nie poddane temu zabiegowi. Tak samo zachowują się nasiona roślin poddane działaniu promieniowania jonizującego – potwierdzają to przypuszczenia Grzesiuka i Kulki (1988) o podobnym działaniu niektórych czynników fizycznych na nasiona roślin uprawnych.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały istotny przyrost liczby wolnych rodników w nasionach traktowanych przedsięwzięciem polem magnetycznym. Koncentracja wolnych rodników w nasionach zależała zarówno od dawki ekspozycyjnej stosowanego pola, jak też od odmiany bobiku. W pracy wykazano istnienie optymalnej dawki pola magnetycznego oddziałującego stymulująco na powstawanie wolnych rodników w nasionach. Obliczone wartości czynnika rozszczepienia spektroskopowego g dla obydwu badanych odmian bobiku zawierały się w przedziale od 2,0036 do 2,0042. Czynniki g dla wolnych elektronów wynosi 2,0023. Porównując wartości obydwu czynników można wnioskować, że stabilne wolne rodniki w nasionach są masywniejsze i zapewne mają bardziej ograniczoną swobodę poruszania się w porównaniu z wolnymi elektronami. W związku z tym, że wartość czynnika g w nasionach bobiku nie zmieniała się przed i po zabiegu, należy przypuszczać, że wolne rodniki zawarte w nasionach przed i po ich traktowaniu polem magnetycznym mają podobną budowę. Podstawową cechą wolnych rodników jest duża aktywność chemiczna oraz to, że w reakcjach z ich udziałem nie jest konieczna obecność enzymów. Wolne rodniki często łączą się w grupy tworząc tzw. aktywne ogniska rodnikowe mające wpływ na przebieg zmian w metabolizmie nasion. Badania autora w sposób udokumentowany statystycznie wykazały wpływ zabiegu stymulacji magnetycznej nasion na zwiększenie koncentracji wolnych rodników. Uważa się, że wolne rodniki jako silne utleniacze w reakcji łańcuchowej z tlenem mogą tworzyć nadtlenki. Reakcje utleniania zachodzące w lipoproteidach powodują zmiany w wewnętrznych warstwach protoplazmy. Pod wpływem tych zmian wzrasta aktywność enzymów hydrolitycznych, zwiększa się pobieranie wody i uruchomienie substancji zapasowych zgromadzonych w nasionach. Konsekwencją tego może być przerwanie ich

spoczynku, wcześniejsze kiełkowanie oraz szybsze tempo wzrostu i rozwoju roślin. W taki właśnie sposób oddziałuje na nasiona promieniowanie wysokoenergetyczne wywoływane przez inne czynniki fizyczne określane jako promienie α , β , γ . Otrzymane rezultaty trudno porównać z uzyskanymi przez innych badaczy, bowiem w dostępnej literaturze krajowej i zagranicznej nie znaleziono dotychczas wyników dotyczących wpływu pola magnetycznego na koncentrację wolnych rodników w nasionach wysokobiałkowych roślin strączkowych - badania takie są dość pracochłonne i wymagają skomplikowanej i drogiej aparatury. Z nielicznych prac dotyczących innego czynnika fizycznego – promieniowania laserowego wynika, że powoduje ono wzrost koncentracji wolnych rodników w nasionach roślin uprawnych. Dowodzą tego badania Podleśnego (1998, 2002) przeprowadzone z bobikiem i łubinem białym, w których wykazano prawie dwukrotne zwiększenie liczby wolnych rodników w nasionach traktowanych przedśiewnie promieniami laserowymi. Także badania Drozd i in. (1997, 1998) wykazały zwiększoną koncentrację wolnych rodników w ziarniakach pszenicy ozimej pod wpływem oddziaływania na nie światłem laserowym ale koncentracja ta była zróżnicowana w zależności od odmiany i dawki promieniowania. Podobnie Gładyszewska (1999) obserwowała wzrost zawartości wolnych rodników w nasionach pomidorów traktowanych promieniami laserowymi, jednakże wielkość uzyskanych efektów uzależniona była w dużej mierze od temperatury, w której prowadzono badania. Nasiona oraz zielonka roślin bobiku stanowią wartościową paszę dla zwierząt gospodarskich. Zwiększenie koncentracji wolnych rodników w materiale roślinnym i w nasionach roślin wyrosłych z materiału siewnego traktowanego polem magnetycznym mogłoby znacznie ograniczyć możliwości jego wykorzystania do celów żywieniowych. W wyniku szczegółowych badań laboratoryjnych materiału roślinnego zbieranego we wczesnym okresie rozwoju roślin, czyli wówczas, kiedy można przypuszczać, że koncentracja wolnych rodników jest największa, nie stwierdzono zwiększonej liczby wolnych rodników ani w poszczególnych częściach nadziemnych roślin, ani w korzeniach. Badania spektroskopowe wykazały, że koncentracja wolnych rodników w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z stymulowanego materiału siewnego jest podobna, jak w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z materiału siewnego nie poddawanego działaniu pola magnetycznego i jest zbliżona do koncentracji wolnych rodników w nasionach kontrolnych przed ich wysiewem. Podobny brak wzrostu zawartości wolnych rodników w częściach nadziemnych i zebranych nasionach traktowanych światłem laserowym wykazał Podleśny (2002) w odniesieniu do łubinu białego.

Oddziaływanie pola magnetycznego na materiał siewny zwiększało zawartość kwasu indolilo-3-octowego i kwasu giberelinowego w kielkujących nasionach, częściach nadziemnych i korzeniach młodych roślin obydwu odmian bobiku. Największą zawartość badanych fitohormonów stwierdzono w części nadziemnej roślin, natomiast ich zawartość w nasionach i korzeniach była znacznie mniejsza. Zwiększona zawartość giberelin i auksyn w nasionach traktowanych polem magnetycznym może być jedną z przyczyn przyspieszonego kielkowania nasion oraz większej dynamiki wzrostu siewek a później roślin wyrosłych z tych nasion. Fitohormony te, biorąc udział w regulacji natężenia procesów metabolicznych zachodzących w nasionach oraz w regulacji procesów wzrostowych roślin, odgrywają znaczącą rolę w ich wzroście i rozwoju. Występujący w kielkujących nasionach i młodych siewkach roślin kwas indolilo-3-octowy bierze udział nie tylko w regulacji wzrostu pędu i korzeni, ale pełni funkcje koordynujące w stosunku do pozostałych regulatorów wzrostu. Kwas giberelinowy symuluje wzrost zarodka i korzonków zarodkowych w czasie kielkowania, zatem odgrywa ważną rolę we wzroście elongacyjnym komórek. Zwiększona intensywność fitohormonów określona wzrostem ich zawartości w nasionach prowadzi do zwiększania zawartości enzymów amylolitycznych mających bezpośredni wpływ na przyspieszenie procesów kielkowania nasion. Fitohormony nie biorą bowiem bezpośredniego udziału w syntezie amylaz, ale są nośnikami informacji do jej rozpoczęcia. Zatem wyższa zawartość fitohormonów w nasionach traktowanych przedśiewnie polem magnetycznym stymuluje intensywność procesów kielkowania oraz wpływa na dynamikę wzrostu i rozwoju wyrosłych z nich roślin. Dotychczas wykonano niewiele badań dotyczących tej tematyki i odnosiły się one na ogół do innych czynników fizycznych. Na przykład Chuvaeva i in. (1981) oraz Sebanek i in. (1989) stwierdzili zwiększenie aktywności niektórych fitohormonów, głównie kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w nasionach grochu siewnego i kukurydzy napromieniowanych światłem laserowym. Także z badań Podleśnego (1998, 2002) wynika, że na skutek oddziaływania promieniowania laserowego istotnie wzrastała zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA) i kwasu giberelinowego (GA_3) w nasionach oraz w częściach nadziemnych i korzeniach młodych siewek bobiku i łubinu białego.

Oddziaływanie pola magnetycznego na nasiona powodowało zmiany w początkowym okresie rozwoju roślin. Młode siewki wyrosłe z nasion stymulowanych polem magnetycznym wytwarzały dłuższą łodygę i korzeń oraz charakteryzował je większy wigor określany niekiedy jako „siła rostowa roślin”, decydująca o dynamice wzrostu i rozwoju siewek oraz plonowaniu wyrosłych z nich roślin. Stwierdzenia autora dotyczące tego zagadnienia znajdują

potwierdzenie we wcześniejszych badaniach Striekovej i in. (1965) oraz Pittman i in. (1977) ale odnoszących się do wzrostu wegetatywnego niektórych gatunków roślin zbożowych. Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że niektóre czynniki fizyczne powodują zwiększenie wigoru siewek, a później dynamiki wzrostu wyrosłych z nich roślin. Przykładem tego mogą być badania Drozd i Szajsner (1997) w których wykazano, że przedświecne naświetlanie nasion promieniami lasera helowo-neonowego zwiększa istotnie przyrost długość koleoptyla pszenicy jarej.

Następstwem przyspieszonego metabolizmu nasion i zmian w przebiegu procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach na skutek traktowania ich polem magnetycznym było szybsze kiełkowanie oraz zwiększenie procentu wschodów roślin bobiku obserwowane zarówno w doświadczeniach wazonowych, jak i polowych. Wschody roślin z nasion stymulowanych następowały o kilka dni wcześniej niż z nasion kontrolnych. Ma to w przypadku bobiku szczególne znaczenie, bowiem gatunek ten charakteryzuje się długim okresem wegetacji; zbiór nasion wykonuje się często w późnych miesiącach letnich, gdy warunki pogodowe nie sprzyjają dojrzewaniu i dosychaniu roślin. Uzyskane wówczas nasiona mają obniżoną jakość paszową i siewną. Wyrosłe z nich siewki mają słaby wigor i są bardziej porażane przez choroby grzybowe niż siewki z nasion dobrze kiełkujących. W większości prac poświęconych tym zagadnieniom wykazano pozytywny wpływ pola magnetycznego na kiełkowanie i wschody roślin zbożowych (Pietruszewski 1999, Mieszczenko 1980). Z prac Pietruszewskiego i in. (2002a, 2002b) oraz Prokopa i in. (2002a, 2002b) wynika, pozytywny wpływ oddziaływania pola magnetycznego na kiełkowanie nasion nie tylko roślin zbożowych ale także niektórych gatunków warzyw. Przeważa pogląd, że czynniki fizyczne oddziałują w największym stopniu na początkowy wzrost i rozwój roślin, a w szczególności zaś na ich kiełkowanie i wschody. Przykładem tego mogą być badania Podleśnego i in. (2004) dotyczące stymulacji magnetycznej nasion łubinu białego. Również Rochalska (2002a) w badaniach dotyczących kiełkowania i wzrostu siewek pszenicy i pszenżyta jarego oraz kukurydzy i soi stwierdziła, że pole magnetyczne może być stosowane jako metoda poprawy wigoru nasion, w szczególności kiełkujących w niesprzyjających warunkach środowiska lub nasion o obniżonych parametrach jakościowych. W prezentowanych badaniach przedświecne traktowanie nasion polem magnetycznym modyfikowało w większym stopniu dynamikę wschodów roślin w warunkach doświadczeń wazonowych niż w warunkach doświadczeń polowych. Szczególnie wyraźne różnice w liczbie wschodzących roślin odnotowano w początkowym okresie wschodów. Wskazuje to na zależność efektu

stosowanego zabiegu od przebiegu warunków pogodowych w poszczególnych latach badań, co sugerował Pittman i in. (1977) w badaniach dotyczących niektórych gatunków zbóż. Wielkość uzyskanych efektów uzależniona była od zastosowanej dawki pola magnetycznego i czasu ekspozycji. Z doniesień literatury wynika, że oprócz warunków pogodowych duży wpływ na przebieg kiełkowania i późniejszy rozwój roślin wyrosłych z nasion traktowanych polem magnetycznym wpływ ma wiele czynników takich jak: wielkość dawki pola magnetycznego, czas ekspozycji, rodzaj urządzenia, gatunek, odmiana oraz wilgotność nasion. Na przykład Pietruszewski (1999) obserwował lepsze kiełkowanie ziarniaków pszenicy jarej moczonych w wodzie przed umieszczeniem ich w polu magnetycznym w porównaniu do nasion suchych, tłumacząc to większą ruchliwością jonów w nasionach bardziej wilgotnych. Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że bardzo dobre efekty polepszenia kiełkowania i wschodów roślin uzyskuje się również pod wpływem działania innych czynników fizycznych. Szybsze tempo kiełkowania oraz wcześniejsze i równomierniejsze wschody roślin wyrosłych z nasion traktowanych promieniami laserowymi obserwował Podleśny (1998, 2002) w doświadczeniach polowych z bobikiem i łubinem białym. Szyrmer i Klimont (1999) natomiast stwierdzili, że naświetlanie nasion fasoli promieniami laserowymi znacznie zmniejsza liczbę nasion martwych i nienormalnie kiełkujących. Olchowik i Gawda (2002) wykazali, że traktowanie nasion promieniami mikrofalowymi wpływa także na polepszenie szybkości i zdolności kiełkowania nasion lnu.

Z literatury krajowej i zagranicznej wynika, że najlepsze efekty stymulacji nasion czynnikami fizycznymi uzyskuje się wówczas, gdy zastosuje się optymalną dawkę ekspozycyjną. Małe dawki czynnika stymulują zwykle kiełkowanie nasion i późniejszy rozwój roślin z nich wyrosłych, natomiast duże dawki mogą mieć ujemne działanie, a niekiedy nawet powodować mutacje. W przeprowadzonych badaniach obydwie zastosowane dawki pola magnetycznego wpływały korzystnie na wielkość badanych cech obydwu odmian bobiku. Zdaniem Pietruszewskiego (1999) ustalenie optymalnej dawki ekspozycyjnej pola magnetycznego dla danego gatunku, czy odmiany jest trudne dlatego przed przystąpieniem do badań polowych można określić optymalną wielkość dawki ekspozycyjnej na podstawie testów kiełkowania nasion w warunkach laboratoryjnych, przy czym należy uwzględnić również czynnik ekonomiczny, czyli wybierać takie dawki, które wymagają najmniejszej mocy pobieranej przez urządzenie do stymulacji. Nie wiadomo jednak, czy optymalna dla danego gatunku lub odmiany w warunkach laboratoryjnych dawka pola magnetycznego będzie również najlepszą w warunkach uprawy polowej. W dostępnej literaturze brak badań,

w których stwierdzono zastosowanie zbyt dużych dawek ekspozycyjnych pola magnetycznego i związane z tym występowanie ujemnych efektów stymulacji. Trudno zatem określić kiedy może wystąpić zjawisko „przedawkowania”, które stwierdzono w odniesieniu do niektórych innych czynników fizycznych. Zdaniem Rybińskiego i in. (1993) istnieje na przykład graniczna wartość dawki energii światła laserowego po przekroczeniu której następuje obniżenie wartości cech morfologicznych i użytkowych badanych roślin, a niekiedy zachodzą nawet niekorzystne mutacje.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że traktowanie nasion polem magnetycznym ma istotny wpływ na ontogenezę roślin, efektem czego są zmiany w kształtowaniu ich cech morfologicznych i plonotwórczych. Badania autora wykonane w warunkach hali wegetacyjnej i pola doświadczalnego wykazały istotny wpływ pola magnetycznego na przebieg ontogenezy roślin bobiku zarówno w okresie ich wegetatywnego wzrostu, jak i generatywnego rozwoju. Rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych polem magnetycznym charakteryzowały się szybszym tempem rozwoju w porównaniu do roślin w obiektach kontrolnych, co powodowało wcześniejsze ich zakwitanie i dojrzewanie. Potwierdziły to także analizy zawartości suchej masy w roślinach wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym - największe różnice stwierdzono w okresie ich dojrzewania. Wcześniejsze zakwitanie roślin wyrosłych z nasion poddanych działaniu pola magnetycznego obserwowano szczególnie wyraźnie w warunkach doświadczeń wazonowych. W warunkach doświadczeń polowych nasiona roślin wyrosłych z nasion poddanych działaniu pola magnetycznego charakteryzowały się mniejszą zawartością wody niż nasiona z roślin kontrolnych. Uzyskanie plonu o mniejszej zawartości wody w nasionach ma także aspekt ekonomiczny, bowiem ogranicza lub eliminuje nakłady związane z dosuszaniem, które stanowią znaczny koszt produkcji nasion. Według Grzesiuka i Kulki (1986) skrócenie okresu wegetacji, wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie jest częstym efektem oddziaływania czynników fizycznych na materiał siewny roślin. Potwierdzają to badania Podleśnego (2002), w których wykazano wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie łubinu białego wyrosłego z nasion traktowanych przedsięwnie promieniami laserowymi. Także Podleśny i Sowiński (2004) stwierdzili wcześniejsze dosychanie nasion grochu siewnego, a Boe i Salunkhe (1963) wcześniejsze dojrzewanie pomidorów wyrosłych z nasion traktowanych przedsięwnie polem magnetycznym. Wyraźne przyspieszenie zakwitania i dojrzewania roślin wyrosłych z nasion traktowanych przedsięwnie innymi czynnikami

fizycznymi stwierdzili także w odniesieniu do niektórych roślin uprawnych Gieroba i in. (1995), Son (1990), oraz Vasilenko i Kuzniecova (1990).

W większości przeprowadzonych badań związanych z oddziaływaniem pola magnetycznego na materiał siewny ograniczono się do prezentowania wyników związanych z wpływem stymulacji nasion polem magnetycznym na kiełkowanie i wschody roślin lub ich plonowanie. W przeprowadzonych badaniach autor starał się prześledzić oddziaływanie pola magnetycznego na wzrost i rozwój roślin w całym okresie wegetacyjnym. Wykonano dlatego kilka zbiorów pośrednich w celu określenia dynamiki gromadzenia masy przez poszczególne organy roślin bobiku oraz wykonano szereg pomiarów biometrycznych w celu określenia kształtowania się niektórych cech morfologicznych i plonotwórczych obydwu badanych odmian bobiku. Wyniki badań zawarte w niniejszej pracy wykazały, że stymulacja nasion polem magnetycznym modyfikowała tempo gromadzenia plonu suchej masy w poszczególnych organach roślinnych bobiku. Największym przyrostem plonu suchej masy części wegetatywnych, głównie łodyg i liści odznaczały się rośliny w okresie od kwitnienia do zawiązywania strąków, po czym tempo gromadzenia masy uległo zróżnicowaniu w zależności od organu rośliny. Największy przyrost plonu suchej masy części generatywnych stwierdzono w czasie od zawiązywania strąków i wypełniania nasion do dojrzewania roślin. Podobny wpływ oddziaływania na nasiona polem magnetycznym zaobserwowany został w odniesieniu do korzeni. Jednakże przyrosty plonu suchej masy w okresie dojrzewania były zdecydowanie mniejsze. Wojcieszka i in. (1993) zmniejszenie masy liści i łodyg w późniejszym okresie wzrostu roślin tłumaczy większymi stratami powstałymi w procesie oddychania oraz redystrybucją asymilatów do organów generatywnych, natomiast w przypadku korzeni zmniejszenie się ich masy może być wynikiem rozpadu komórek, zamierania starych korzeni oraz odpadania od korzeni starzejących się brodawek. Otrzymane wyniki trudno porównać z danymi literaturowymi, bowiem w większości prezentowanych prac badano oddziaływanie pola magnetycznego na kiełkowanie i wschody roślin oraz na efekt końcowy jakim była zwyżkę uzyskiwanych plonów. Jedynie Shiyan (1979), stwierdził wzrost masy roślin i szybszy rozwój systemu korzeniowego pszenicy ozimej, której nasiona traktowane były polem magnetycznym. Przedsiewne traktowanie nasion polem magnetycznym różnicowało nie tylko dynamikę gromadzenia plonu suchej masy w poszczególnych organach roślin, ale również miało wpływ na kształtowanie innych cech morfologicznych i użytkowych. Wykonane pomiary biometryczne wykazały, że przedsiewne traktowanie nasion polem magnetycznym wpływało na przyrost powierzchni liściowej roślin

wyrosłych z nasion stymulowanych. Różnice w powierzchni liści pomiędzy roślinami wyrosłymi z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym utrzymywały się prawie przez cały okres wegetacji bobiku. Dopiero w okresie dojrzewania wielkość powierzchni liściowej roślin wyrosłych z nasion stymulowanych była mniejsza niż roślin kontrolnych. Większa powierzchnia liściowa w okresie wzrostu wegetatywnego u roślin wyrosłych z nasion traktowanych polem magnetycznym była wynikiem szybszego ich wzrostu, natomiast zmniejszenie powierzchni liściowej pod koniec okresu rozwojowego bobiku było konsekwencją wcześniejszego ich dojrzewania. Większa powierzchnia liściowa roślin może być wynikiem większej powierzchni liścia lub większej liczby liści na roślinie. W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono istotniej różnicy w odniesieniu do liczby liści, dlatego przyrost powierzchni liściowej całej rośliny był wynikiem przyrostu powierzchni poszczególnych liści. Podobne spostrzeżenia poczynili Podleśny i in. (2003), traktując polem magnetycznym nasiona dwóch odmian łubinu białego. Także Inyushin i in. (1981) stwierdzili, zwiększenie powierzchni liściowej roślin jęczmienia i ogórka wyrosłych z nasion naświetlanych promieniami lasera w porównaniu do roślin kontrolnych, ale zwiększenie powierzchni liściowej było konsekwencją przyrostu powierzchni pojedynczego liścia oraz zwiększonej liczby liści na roślinie.

Zarówno w doświadczeniach wazonowych jak i polowych przedświecne traktowanie nasion polem magnetycznym różnicowało wysokość roślin bobiku. Rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych były wyższe od roślin kontrolnych. Największe różnice widoczne były w od fazy 3 – 4 liści do okresu zawiązywania strąków. Wyniki wielu prac dowodzą, że rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych są wyższe od roślin wyrosłych z nasion kontrolnych. Jednak spotyka się również takie doniesienia w których szybszy przyrost wysokości roślin wyrosłych z nasion traktowanych polem magnetycznym stwierdza się przede wszystkim w początkowych etapach rozwojowych roślin (Alexander i Doijode 1995).

Obydwie zastosowane dawki pola magnetycznego powodowały podobny przyrost plonu nasion badanych odmian bobiku. Analiza struktury plonu wykazała, że uzyskana zwyżka plonu nasion bobiku była efektem zwiększonej obsady strąków na roślinie, a w warunkach doświadczenia polowego również mniejszych ubytków roślin z łanu w okresie wegetacji. Liczba nasion w strąku i masa 1000 nasion nie ulegały istotnym zmianom. Podobne rezultaty, ale dotyczące innej rośliny strączkowej uzyskali Gurusamy i Kalavathi (1998), wykazując zwiększenie liczby strąków na roślinie grochu krowiego (*Vigna sinensis*) wyrosłego z nasion traktowanych przedświecnie polem magnetycznym. Z badań Podleśnego

i in. (2003, 2004) wynika, że przedsiewna stymulacja nasion polem magnetycznym oddziałuje podobnie na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie innych gatunków roślin strączkowych. Także korzystny wpływ pola magnetycznego na plonowanie niektórych gatunków roślin zbożowych stwierdzili Phirke (1996), Pietruszewski (1999) i Rochalska (2002a), ale wyżka plonu spowodowana była większą liczbą ziaren w kłosie, większą masą 1000 ziaren i lepszą krzewistością roślin. W literaturze krajowej i zagranicznej spotyka się także nieliczne prace, w których uzyskiwane efekty stymulacji magnetycznej nasion nie zawsze były tak oczywiste (Pittman i in. 1977) lub były widoczne w początkowym okresie rozwoju roślin (Andreoli i Khan 1999). W prezentowanych badaniach autora oprócz wzrostu plonu nasion pod wpływem traktowania materiału siewnego polem magnetycznym wykazano, że różnice w plonie nasion występowały już w okresie wykształcania nasion, gdyż już wtedy rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych polem magnetycznym charakteryzowały się większą obsadą strąków niż rośliny z obiektów kontrolnych. Plon suchej masy strączyń i nasion zwiększał się w miarę wzrostu i rozwoju roślin aż do zbioru i zawsze był wyższy na obiektach, których materiał siewny był traktowany polem magnetycznym. Zróżnicowane warunki pogodowe w poszczególnych latach badań miały wpływ na plonowanie bobiku oraz na wyżkę plonu uzyskaną na skutek traktowania nasion polem magnetycznym. Również badania Pittmana i in. (1977) i Podleśnego i in. (2003) wskazują na zależność efektu stosowania zabiegu od warunków siedliskowych a w szczególności od przebiegu warunków termiczno – wilgotnościowych w okresie wzrostu i rozwoju roślin.

W badaniach autora nie stwierdzono istotnego wpływu traktowania nasion polem magnetycznym na skład chemiczny zebranych nasion bobiku. Zaobserwowano tendencję do zmiany w zawartości białka i tłuszczu w nasionach. Rezultaty tych oznaczeń trudno skonfrontować z doniesieniami innych autorów, bowiem w niewielu badaniach oceniano wpływ omawianego zabiegu na jakość plonu. Z monografii Pietruszewskiego (1999) wynika, że traktowanie pszenicy ozimej polem magnetycznym polepszało jakość mąki i jej właściwości wypiekowe. Z innych doniesień Pietruszewskiego i Wójcik (2000) wynika, że pole magnetyczne zwiększa zawartość cukru w korzeniach niektórych odmian buraka cukrowego. Również Lebiediev i in. (1975) wykazali korzystny wpływ stymulacji magnetycznej nasion na własności technologiczne buraka cukrowego w wyniku zmniejszenia zawartości popiołu. Nieco więcej prac dotyczy korzystnego oddziaływania innych czynników fizycznych na jakość plonu. Na przykład Dobrowolski i in. (1992) stwierdzili zwiększenie zawartości niektórych mikroelementów w owocach pomidora, Ivanova (1998) zwiększenie

zawartości tłuszczu w nasionach konopi, Cholakov (1990) węglowodanów i niektórych witamin, a Yuzhang i in. (1969) polepszenie jakości włókna bawełny uzyskanego z roślin wyrosłych z nasion traktowanych przedświecnie światłem laserowym. W badaniach dotyczących tej tematyki nie uzyskano również jednoznacznych rezultatów bowiem badania Podleśnego (1998, 2002), nie wykazały istotnego wpływu zabiegu naświeciania nasion niektórych roślin strączkowych na zwiększanie zawartości białka i tłuszczu w zebranych nasionach.

Traktowanie nasion polem magnetycznym wywoływało różnorodne efekty, które stwierdzono już w kiełkujących nasionach bobiku. Zmiany w przebiegu niektórych procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach miały odzwierciedlenie w późniejszym wzroście i rozwoju roślin. Do szczególnie pozytywnych należy skrócenie okresu wschodów skutkujące bardzo często mniejszym porażeniem roślin przez choroby w późniejszym okresie rozwoju i zwiększenie liczby wschodzących roślin. Właściwa obsada roślin i ich zdrowotność należą do podstawowych warunków uzyskiwania wysokich plonów nasion. Innym pozytywnym skutkiem stymulacji magnetycznej nasion było ogólne zwiększenie aktywności fizjologicznej roślin objawiające się zwiększonym tempem wzrostu i gromadzenia masy poszczególnych organów roślin. Wyniki opisane w niniejszej pracy obrazują oddziaływanie pola magnetycznego na przebieg tworzenia plonu masy w ciągu całego okresu wegetacji. Wykazano w nich takie okresy w rozwoju ontogenetycznym roślin, w których stymulacja magnetyczna nasion wpływała najbardziej na tempo gromadzenia masy organów wegetatywnych i generatywnych roślin bobiku. Na uwagę zasługuje niejednakowa ekspresja stymulowanych nasion w poszczególnych fazach rozwoju ontogenetycznego roślin, co może to być przyczyną rozbieżności wyników uzyskiwanych przez autorów podających wyniki obserwacji z różnych faz wzrostu roślin. Zjawisko oddziaływania pola magnetycznego na nasiona roślin uprawnych nie zostało dotychczas dokładnie poznane i wyjaśnione, dlatego istnieje potrzeba dalszego prowadzenia badań głównie z pogranicza biologii i fizyki poszerzających wiedzę dotyczącą tej tematyki.

6. WNIOSKI

1. Traktowanie materiału siewnego polem magnetycznym istotnie zwiększało aktywność enzymów amylolitycznych w nasionach obydwu badanych odmian bobiku. Największe zróżnicowanie aktywności enzymatycznej między nasionami stymulowanymi i kontrolnymi stwierdzono po 96 godzinach od wysiewu. Większą aktywność enzymów odnotowano w nasionach bobiku odmiany Nadwiślański – typ tradycyjny, niż odmiany Tim – typ samokończący.
2. Nasiona bobiku poddane działaniu pola magnetycznego, w wyniku szybszego pobierania wody, wykazywały większą dynamikę przyrostu masy podczas pęcznienia niż nasiona kontrolne, co sprzyjało wcześniejszemu i bardziej równomiernemu kiełkowaniu oraz lepszym wschodom roślin.
3. Traktowanie nasion polem magnetycznym zwiększało w nich koncentrację wolnych rodników. Największy przyrost ich liczby stwierdzono po traktowaniu nasion polem magnetycznym o indukcji 85 mT. Nie stwierdzono natomiast wpływu wymienionego zabiegu na koncentrację wolnych rodników w wyrosłych z nich roślinach.
4. Oddziaływanie pola magnetycznego na materiał siewny zwiększało zawartość kwasu indolo-3-octowego (IAA) i kwasu giberelinowego (GA_3) w kiełkujących nasionach oraz części nadziemnej i korzeniach młodych siewek obydwu odmian bobiku. Największe różnice w zawartości badanych fitohormonów między roślinami wyrosłymi z nasion traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym stwierdzono w części nadziemnej bobiku.
5. Traktowanie nasion polem magnetycznym oddziaływało korzystnie na wzrost i rozwój siewek. Młode rośliny bobiku wyrosłe z stymulowanego materiału siewnego charakteryzowały się dłuższym hypokotylem i korzonkami zarodkowymi w porównaniu do siewek wyrosłych z nasion nie stymulowanych. Różnica w wysokości roślin i długości korzeni na skutek zabiegu stymulacji magnetycznej nasion utrzymywała się również w późniejszych okresach wzrostu i rozwoju bobiku.
6. Rośliny wyrosłe z nasion stymulowanych charakteryzowały się większymi fizjologicznymi wskaźnikami bezwzględnej (GR) i względnej (RGR) szybkości wzrostu części nadziemnej i korzeni. Oddziaływanie polem magnetycznym na nasiona miało istotny wpływ na tempo nagromadzania się suchej masy w poszczególnych organach roślin i jej ilość. Największy wpływ tego zabiegu na przyrost plonu suchej masy organów

- wegetatywnych wystąpił w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków, a części generatywnych w okresie wypełniania nasion i dojrzewania strąków.
7. Rośliny bobiku wyrosłe z nasion stymulowanych wcześniej zakwitwały i dojrzewały w warunkach hali wegetacyjnej, natomiast w warunkach doświadczeń polowych wydawały nasiona, które wcześniej dosychały niż nasiona z roślin kontrolnych.
 8. Obydwie zastosowane do stymulacji nasion bobiku dawki pola magnetycznego wpływały na zmiany cech morfologicznych wyrosłych z nich roślin. Magnetostymulacja nasion powodowała wzrost wysokości roślin oraz przyrost ich powierzchni liściowej – największy w okresie intensywnego wzrostu roślin od fazy 2-3 liści do zakwitania.
 9. Przedsiewna stymulacja materiału siewnego polem magnetycznym istotnie zwiększała plon nasion obydwu odmian bobiku. Wzrost plonu pod wpływem przedsiewnego traktowania nasion polem magnetycznym był efektem większej obsady strąków i liczby nasion z roślin, a w warunkach pola doświadczalnego również mniejszych ubytków roślin z łanu w okresie wegetacji. W doświadczeniu polowym efektywność stosowanego zabiegu była zróżnicowana w poszczególnych latach badań, co wskazuje na uzależnienie efektu stymulacji magnetycznej nasion od przebiegu warunków pogodowych.
 10. Nie stwierdzono istotnego wpływu pola magnetycznego na wartość paszową zebranych nasion. Stymulacja magnetyczna nie zmieniała istotnie zawartości białka i tłuszczu w nasionach - stwierdzono jedynie tendencję do przyrostu zawartości tych składników pod wpływem tego zabiegu. Przedsiewne traktowanie materiału siewnego polem magnetycznym zwiększało natomiast wartość siewną zebranych nasion bobiku.

7. PIŚMIENNICTWO

1. Aksyonov S. I., Buchylev A., Grunina T. Yu., Goryachev S. N., Tur o v e t s k y V. B.: Physiochemical mechanisms of efficiency of treatment by weak ELF-EMF of wheat seeds at different stages of germination. 22 Annual Meeting Europ. Bioelectromagnetics. Ass., Munich, 2000: 112-113.
2. Alexander M.P., Doijode S.D.: Electromagnetic field, a novel tool to increase germination and seedling vigour of conserved onion (*Allium cepa* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) seeds with low viability. Plant Genetic Resources Newsletter, 1995, 104: 1-5.
3. Andreoli C., Khan A. A.: Metriconditioning integrated with gibberellic acid to hasten seed germination and improve stand establishment and pepper and tomato. Pesq. Agropec. Bras, 1999, 34: 1953-1958.
4. Andruszkin M. I., Dudnik W. H., Vunukajnen N P.: Predposevnoje obłucenie semian lna-dołunca svietom gielij-neonovo lazera. Vestnik Sielskochozjajstviennoi Nauki, 1977, 2: 123-128.
5. Aristarchov V.M., Piruzian L.A., Cybysev V.P.: Fizikochemicieskie osnovy piervychnych miechanizmov biologiczieskovo deistva magnitnogo pola. W: Reakcji biologicieskich sistem na magnitnyie pola. Red. J.A. Chołodov, Nauka, Moskwa, 1978: 6-25.
6. Audus L.J.: Magnetotropism; a New Plant-Growth Response. Nature, 1960, 185: 132-134.
7. Boe A.A., Salunkhe D.K.: Effects of Magnetic Fields on Tomato Ripening. Nature, 1963, 199: 91-92.
8. Borowiecki J.: Nowe aspekty symbiotycznego wiązania azotu. Post. Nauk Rol., 2004, 2: 61-69.
9. Borowiecki J., Lenartowicz W., Bochniarz J.: Plonowanie niektórych odmian bobiku w warunkach różnicowanej obsady roślin. Pam. Puł., 1992, 101: 157-167.
10. Bovelli R., Bennici A.: Stimulation of germination callus growth and shoot regeneration of *Nicotiana tabacum* L. By Pulsing Electromagnetic Fields (PEMF). Hort.Sci., 2000: 14: 3-6.
11. Celestino C., Picazo M.L., Toribio M.: Influence of chronic exposure to an electromagnetic field on germination and early growth of *Quercus suber* seeds: preliminary study. Electro and Magnetobiology, 2000, 19(1): 115-120.
12. Chao L., Walker D.R.: Effects of a Magnetic Field on the Germination of Apple, Apricot, and Peach Seeds. Hort Science, 1967, 2(4): 152-153.

13. C h e r v i n e t s V.M.: Variation of Escherichia due to experimentally simulated fluctuations of the geomagnetic fields. In: Effect of Magnetic Field on Biological Objects. Ed. Kalliningrad State University, 1975.
14. C h u v a e v a A.D., F e d u l o v Yu. P., G e r a s h e n k o E.K. The effect of presowing laser irradiation of maize seed on plant morphological features. Sielskohozyaistvennaya Biologia, 1981, 1, 16: 2: 237-240.
15. C h o l a k o v D.: Effect of laser-energy irradiation of seeds on the biological manifestations of pickling cucumbers. Sofia. Plant Sci., 1990, XXVII: 77-81.
16. D o b r o w o l s k i J.W., S m y k B., R ó ż y c k i E., B a r a b a s z W., W a c h a l e w s k i T.: Experiments about the influence of laser light on some biological elements of the natural environment. Stockholm. Acta Universitatis Upsaliensis, 1992, 1: 1-15.
17. D r o z d D., S z a j s n e r H.: Laboratoryjna ocena wczesnych faz rozwojowych pszenicy jarej poddanej działaniu promieniowania laserowego. Biul. IHAR, 1997, 204: 187-190.
18. D r o z d D., S z a j s n e r H., J e z i e r s k i A.: Electron paramagnetic resonanse (EPR) investigations of laser induced free radicals in spring wheat grains. Inter. Agrophysics, 1998, 13: 343-346.
19. D u b r o v A.P.: Wlianie geomagnitnovo pola na fiziologiceskie procesy u rastienii. Fiziol. Rast., 1970, 17,4: 836-842.
20. D u b r o v A.P.: The geomagnetic field and Life. Geomagnetobiology. Plenum Press, New York, London, 1978.
21. D u d i n P.: Mutagenic effect of irradiation from a helium-neon laser on spring barley. Genetica, 1983, 19: 1693-1699.
22. D u l b i ń s k a D.A.: Wlianie postoiannovo magnitnovo pola na rost prorostkov kukuruzy. Fiziol. Rast., 1973, 20, 1: 183-186.
23. D z i a m b a Sz., K o p e r R.: Wpływ naświetlania laserem nasion na plon ziarna pszenicy jarej. Frag. Agronom., 1992, 33: 88-93.
24. D z i a m b a Sz., Z a r ę b s k i Z.W.: Sposób przedsiewnej obróbki ziarna i urządzenie do obróbki ziarna. Patent Nr 299454 RP, 1993.
25. D z i e n i a S., S o s n o w s k i A., R o m e k B.: Wpływ następczy roślin strączkowych na plonowanie zbóż. W: Nowe kierunki w uprawie i użytkowaniu roślin motylkowatych. AR Szczecin, 1989: 48-60.
26. E r i k s o n L.E.G., H y d e J., E h r e n b e r g A.: Electron-nuclear double resonanse from flavin radicals in liquid and polycrystalline phase and conjugated to protein. Biochem. Biophys. Acta., 1969, 192: 211-230.

27. E w a r d A.: On the Physics and Physiology of Protoplasmic Streaming in Plants. Oxford, Clarendon Press, 1903.
28. E v a n s G.C.: The quantative analysis of plant growth. Univ. California Press, 1972: 734.
29. FAOSTAT: Agriculture Data 2002 – 2003. Dane internetowe, 2004.
30. F r i e d m a n n H., L u b a r t R., L a u l i c h t I., R o c h k i n d A.: A possible explantation of laser-induced stimulation and damage of cell cultures. J. Photochem. Photobiol. In: Biol., 1991, 11: 87-95.
31. G a l o v a Z.: The effect of laser beams on the process of germinating power of winter wheat grains. Roczniki AR w Poznaniu. CCCLXXXVI, ser. Rol., 1996, 49: 39-43.
32. G i e r o b a J., K o p e r R., M a t y k a S.: The influence of pre-sowing laser biostimulation of maize seeds on the crop and nutritive value of the corn. 45th Australian Cereal Chemistry Conference. Adelaide, 1995: 30-33.
33. G ł a d y s z e w s k a B.: Ocena wpływu przedsiwnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania, Rozprawa doktorska. AR Lublin, 1999.
34. G ó r e c k i R.J., G r z e s i u k S.: Światowe tendencje i kierunki uszlachetniania materiałów nasiennych. Mat. Konf. Uszlachetnianie materiałów nasiennych. Olsztyn-Kortowo, 1994: 9-25.
35. G r z e s i u k S., K u l k a K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa, 1986.
36. G r z e s i u k S., K u l k a K.: Biologia ziarniaków zbóż. PWN Warszawa, 1988.
37. G r z e s i u k S., R e j o w s k i A.: Wpływ pola ultradźwiękowego na kiełkowanie oraz wzrost i rozwój kukurydzy (*Zea Mays* L.). Post. Nauk Rol., 1957, 3 (45): 4-13.
38. G u r u s a m y C., K a l a v a t h i D.: Impact of magnetobiology on cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. Legume Research, 1998, 21, 2: 117-120.
39. H a r d i n J.M., S t u t t e Ch.A.: Analysis of plant hormones using high-performance liquid chromatography. J. Chromatography, 1981, 208: 124-128.
40. H i r a s o v a E.: Auxins induce α-amylase activity in pea catyledons. Plant. Physiol., 1989, 916: 484-486.
41. H i r o t a N., N a g a g a w a J., K i t a z a w a K.: Effects of a magnetic field on the germination of plants. J. Applied Physics., 1999, Vol. 85, 8: 5717-5719.
42. I n y u s h i n W.M.: Technika laserowa w służbie rolnictwa. Nowe Rol., 1977, 21/22: 21-26.
43. I n y u s h i n W.M., I l j a s o v G.U., F e d o r o v a N.N.: Laser Light and Crop. Kainar Publ. Ałma-Ata, 1981.

44. I v a n o v a R.: Influence of Pre-sowing Laser Irradiation of seeds of Introduced Flax Varieties for Linseed Oil on Yield Quality. Bul. J. of Agricult. Sci., 1998, 4: 49-53.
45. J a s i ń s k a Z., K o t e c k i A.: Rośliny strączkowe. PWN Warszawa, 1993.
46. K a r a j a D.H.: The influence of the constant magnetic field on the energy germination of the wheat seeds. Biuletini i Slikeceve Bujgesore, 1988, 4: 140-144.
47. K o p e r R.: Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. Inter. Agrophysics, 1994, 8: 593-596.
48. K o r n a r z y ń s k i K., P i e t r u s z e w s k i S.: Effect of the stationary magnetic field on the germination of wheat grain. Inter. Agrophysics, 1999, 13: 457-461.
49. K r y l o v A.W., T a r a k a n o v a G.A.: Jawlenie magnitotropizma u rastienii i jego priroda. Fiziologia Rastienii, 1960, 7, 2: 191-197.
50. L a b e s M.M.: A Possible Explanation for the Effect of Magnetic Fields on Biological Systems. Nature, 1993, 211: 969.
51. L a c a m p a g n e J. P. 2001. Grain legume areas recover in 2001. Grain Legumes, 2001, 34: 24-25.
52. L a m p a r t – S z c z a p a E.: Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka. Wartość biologiczna i technologiczna. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 1997, 446: 61-81.
53. L e b i e d i e v S.J., B a r a n s k i j P.I., L i t v i n e n k o L.G., S h i y a n L.T.: Fiziologo-biochimiczeskie osobennosti rostieni poslie priedposievnovo vozdieistva postoiannym magnitnym polem. Fiziologia. Rastienii, 1975, 22, 1: 103-109.
54. L i b o f f R.L.: Biomagnetic Hypotheses. Biological Effect on Magnetic Field. Plenum Press, New York-London, 1969: 171-175.
55. M a l i n g J.E., W e i s s b l u t h - J a c o b s E.E.: Enzyme substrate reactions in high magnetic fields. Biophysics. J., 1965, 165: 767-776.
56. M a r o n e k D.M.: Electromagnetic Seed Treatment Increases Germination of *Floelreuteria paniculata* Laxm. Hort Science., 1975, 10(3).
57. M i c h a l c z u k L.: Metody oznaczania kwasu indolilo-3-octowego w roślinach. W: Regulatory wzrostu i rozwoju roślin. Praca zbiorowa pod redakcją L.S. Jankiewicza. PWN Warszawa, 1997, 1: 188-197.
58. M i e s z c z e n k o V.I.: Priedposievnaja obrobotka siemian v elektromagnitnom pole. Elektr. Obrob. Mater., 1980, 6(96): 68-69.
59. M u r p h y J.B.: The influence of magnetic fields on seed germination. Am. J.. Botany, 1942, 29: 15-18.

-
60. N o v i k o v a G.W.: Kmetodikie korrekci reŝimov vozdiejstvija elektromagnitnogo pola vysokoj czastoty na semena redisa pri izmienienii elektriczeskich parametrov. Elekt. Obr. Matre., 1981, 3: 63-65.
 61. O l c h o w i k G., G a w d a H.: Wpływ promieniowania mikrofalowego na zdolność kiełkowania nasion lnu. Acta Agrophysica, 2002, 62: 63-68.
 62. P a s t u s z e w s k a B.: Wartość pokarmowa nasion roślin strączkowych w żywieniu zwierząt. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, 446: 83-94.
 63. P a w ł o w i c z S.A.: Magnetic field as ecological factor in variation of microorganismus. In: Physicomathematical and Biological Problems of Effect of Electromagnetics field and Ionization of Air. Nauka, Moskwa, 1975, 2: 113-130.
 64. P h i r k e P.S., P a t i l M.N., U m b a r k a r S.P., D u d h e Y.H.: The application of magnetic treatment to seeds: methods and responses. Seed Sci.& Technol., 1996, 24: 365-373.
 65. P i e t r u s z e w s k i S.: Effect of magnetic seed treatment on yield of wheat. Seed Sci.& Technol., 1993, 21: 621-626.
 66. P i e t r u s z e w s k i S.: Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie, 1999, 220: 1 – 55.
 67. P i e t r u s z e w s k i S., K o r n a r z y ń s k i K.: Magnetic biostimulation of wheat seeds. Inter. Agrophysics, 1999, 13: 497-501.
 68. P i e t r u s z e w s k i S., K o r n a r z y ń s k i K., P r o k o p M.: Kiełkowanie nasion cebuli odmiany Sochaczewska w stałym polu magnetycznym. Acta Agrophysica, 2002a, 62: 69-74.
 69. P i e t r u s z e w s k i S., K o r n a r z y ń s k i K., P r o k o p M.: Kiełkowanie nasion kapusty białej w stałym polu magnetycznym. Acta Agrophysica, 2002b, 62: 75-82.
 70. P i e t r u s z e w s k i S., W ó j c i k S.: Effect of magnetic field on yield and chemical composition of sugar beet roots. Inter. Agrophysics, 2000, 14: 89-92.
 71. P r o k o p M., P i e t r u s z e w s k i S., K o r n a r z y ń s k i K.: Wstępne badania wpływu zmiennych pól magnetycznych i elektrycznych na kiełkowanie, plony oraz cechy mechaniczne korzeni rzodkiewki i rzodkwi. Acta Agrophysica, 2002a, 62: 83-93.
 72. P r o k o p M., P i e t r u s z e w s k i S., K o r n a r z y ń s k i K., M i k o s - B i e l a k M.: Ocena biostymulacji zmiennym polem magnetycznym nasion cebuli odmiany Sochaczewska. Acta Agrophysica, 2002b, 62: 95-102.
 73. P i t t m a n U.J.: Magnetism and plant growth. I. Effect on germination and early growth of cereal seeds. Can. J. Plant Sci., 1963, 43: 513-518.
 74. P i t t m a n U.J.: Biomagnetic responses in germinating malting barley. Can. J. Plant Sci., 1971, 51: 64-65.

-
75. P i t t m a n U.J., A n s t e y H.: Magnetic treatment of seed orientation of a single-harvest snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 1967, 91: 310-314.
 76. P i t t m a n U.J., C a r e f o o t J.M., O r m r o d D.P.: Effect of magnetic Seed Treatment on Yield of Barley, Wheat and Oats in Southern Alberta. Can. J. Plant Sci., 1977, 57: 37-45.
 77. P i t t m a n U.J., C a r e f o o t J.M., O r m r o d D.P.: Effect of magnetic seed treatment on amylolytic activity of quiescent and germination barley and wheat seeds. Can. J. Plant Sci., 1979, 59: 1007-1011.
 78. P o d l e ś n y J.: Wpływ przedsiewnego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). Pam., Puł., 1998, 113: 73-84.
 79. P o d l e ś n y J.: Studia nad oddziaływaniem światła laserowego na nasiona, rozwój roślin i kształtowanie czynników plonowania łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Monografie i rozprawy naukowe, 2002, 3: 1-59.
 80. P o d l e ś n y J., L e n a r t o w i c z W., S o w i Ń s k i M.: Wpływ biostymulacji magnetycznej nasion na kształtowanie cech morfologicznych i plonowanie zróżnicowanych genotypów łubinu białego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2003, 495, 399-406.
 81. P o d l e ś n y J., P i e t r u s z e w s k i S., P o d l e ś n a A.: Efficiency of magnetic biostimulation of broad bean cultivated in the experimental plot conditions. Inter. Agrophysics, 2004. vol.18, 1: 65-71.
 82. P o d l e ś n y J., P o d l e ś n a A.: Morphological changes and yielding of chosen legumes plants under influence of seeds treatment by laser light. Inter. Agrophysics, vol. 19, 2004 (w druku).
 83. P o d l e ś n y J., S o w i Ń s k i M.: Wpływ stymulacji magnetycznej nasion na rozwój i dynamikę gromadzenia masy grochu siewnego. Inżynieria Rolnicza, 2004 (w druku).
 84. R o c h a l s k a M.: Pole magnetyczne jako środek poprawy wigoru nasion. Acta Agrophysica, 2002a, 62: 103-111.
 85. R o c h a l s k a M.: Poprawa jakości materiału siewnego za pomocą zmiennego pola magnetycznego. Doświadczenie polowe. Acta Agrophysica, 2002b, 62: 113-126.
 86. R o c h a l s k a M.: Wpływ pola magnetycznego na nasiona i rośliny. Post. Nauk Rol., 2003, 1: 31-46.
 87. R o m a n a R., J e r m a n I., N a d a G.: Water Stress Reveals Effects of ELF Magnetic Fields on the Growth of Seedlings, 1998, 17(1): 17-30.
 88. R y b i Ń s k i W., P a t y n a H., P r z e w o ź n y T.: Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). Genetica Polonica, 1993, vol. 34 (4): 337-343.

89. S a w a s t i n P.W.: Magnetowachstumsreaktionen bei Pflanzen. *Planta*, 1930, 11: 683-726.
90. S e b a n e k J., K r a l i k J., H u d e o v a M., K l i c i v a S., S l a b y K., P s o t a V., V i t k o v a H., P o l i s e n s k a M., K u d o v a D., S t e r b a S., V a n c u r a J.: Growth and hormonal effects of laser on germination and rhizogenesis in plants. Praga. *Acta Sc. Nat. Brno*, 1989, 23 (9): 1-49.
91. S e d l a k W.: Dynamika bioplazmy i metabolizm. *Kosmos*, 1975, seria A 24: 261-272.
92. S e d l a k W.: Teoria bioplazmy po 18 latach. KUL, Lublin, 1988: 11-19.
93. S h i y a n L.T.: Vlijanije postojannogo magnitnogo pola na rost, rozvitije i produktivnost sielskochozajstwiennyh rostien. *Elektr. Obrob. Mater.*, 1979, 1(85): 67-70.
94. S m i t h S., M c L e o d B., L i b o f f A.: Efectts of CR-tuned 60 Hz Magnetic fields on sprouting and early growth of *Raphanus sativus*. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 1993, 32: 67-76.
95. S o m o g y M.: Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.*, 1952, 19: 195.
96. S o n T.S.: Łaziernaia aktivacia kenafa. *Tech. Kult.*, 1990, 6: 42-43.
97. S t r i e k o v a I., T a r a k a n o v a G.A. P r u d n i k o v a W.P.: Niekatoryje fizjologicieskie i citologicieskie zmienienia u prorastaiuszczich ziemian w postoiannom magnitnom pole. *Fizjologia Rastienii*, 1965, 5: 920-929.
98. S w a r t z H.M., B o l t o n J.R., B o r g D.C., W i l e y J.: Biological applications of electron spin resonanse. New York, 1972.
99. S y m o n s M.: Chemical and biochemical aspects of electron-spin resonanse spectroscopy. Van Nostrand Reinhold Company, New York-Cincinati-Toronto-London-Melbourne, 1978.
100. S z y r m e r J., K l i m o n t K.: Wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biul. IHAR*, 1999, 210: 165-168.
101. T o l o m e i G.: Anzione del magnetismo sulla germinazione. *Malpighia*, 1893, 7: 470.
102. T o t h M., K e r p e r t I., K o z m a L., K l u j b e r L.: Influence of different wave-lenght laser lights on the carbohydrate metabolism in germinating maize seeds. *Acta Botanica Hungarica*, 1993, 38 (1-4): 421-430.
103. T u g u l e a L., M i c l a u s S., P a s c a n u S.: Chlorophyl A – sustaible biomaterial for monitoring the electromagnetic influence at molecular level. 22 Annual Meeting Europ. Bioelectromagnetic Ass., 2000, 161.
104. UNIP (French Interprofessional Organisation of Protein Crops): Production communautaire de proteagineux en 2002. *Plantes riches en proteins*: 1-6.

-
105. V a k h a r i a D.N., D a v a r i y a R.L., P a r a m e s w a r a n M.: Influence of Magnetic Treatment on Groundnut Yield and Yield Attributes. Indian J. Plant Physiol., 1991, Vol. 34: 2: 131-136.
 106. V a s i l i e n k o V.F., K u z n i e c o w E.D.: Fizjologicieskie i ekologicieskie aspekty izpolzowania chimicieskoi i svietlovoi regulacji rosta rastienii. Viest. Sielskochozjasjt. Nauki, 1990, 7: 63-68.
 107. W a r d a s R.: Biomagnetyzm PWN Warszawa, 1978.
 108. W i l d e W.H.A., P a r r W.H., M c P e a k D.W.: Seeds Bask in Laser Light. Laser Focus., 1969, vol. 5, 23: 41-42.
 109. W o j c i e s k a U., G i z a A., W o l s k a E., Ł y s z c z S.: Dynamika wzrostu i pobierania składników pokarmowych przez groch siewny odmian Ramir i Koral. I. Dynamika przyrostu masy i plon roślin. Pam. Puł., 1993, 102: 119-133.
 110. W o j t u s i a k R.J., M a j l e r t Z.: Geomagnetobiologia. Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, 1992.
 111. Y o u n g W.: Biological effects of magnetic fields. Plenum Press. New York-London, 1969.
 112. Y u z h a n g X., Z h i d o n g F., D u l i Z.: Effects of laser on the yield and quality of cotton. China Cottons, 1990, vol. 17(2): 37-38.